

การพัฒนาแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CUBESAT ขนาด 1U เวอร์ชัน 3:

ระบบสื่อสาร การทดลองรับ-ส่งไฟล์ MIDI

วงโคจร และระบบสถานีภาคพื้นดิน

Development of 1 U-CubeSat satellite Engineering Model:

Communication System, MIDI transferring, Orbit and ground station



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การพัฒนาแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CUBESAT ขนาด 1U เวอร์ชัน 3:

ระบบสื่อสาร การทดลองรับ-ส่งไฟล์ MIDI

วงโคจร และระบบสถานีภาคพื้นดิน

Development of 1 U-CubeSat satellite Engineering Model:

Communication System, MIDI transferring, Orbit and ground station

โดย

นาย เทียนไท	เจริญต้นธนกุล	58010481
นาย ธันวา	อัมทรัพย์	58010581
นาย ปิติพัฒน์	รุ่งเรืองวัฒนะชัย	58010779

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.อัครพล ตีร์รัตน์

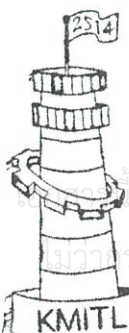
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

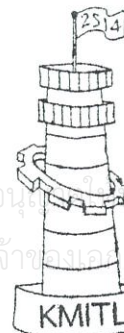


ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(..... อ.อัครพล)

อาจารย์ที่ปรึกษา
10/11/62

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(..... เกษม)

กรรมการผู้ตรวจงาน
10/11/62

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CUBESAT ขนาด 1U เวอร์ชัน 3:
ระบบสื่อสาร การทดลองรับ-ส่งไฟล์ MIDI วงโคจร และระบบสถานีภาคพื้นดิน
DEVELOPMENT OF 1 U VERSION 3 CUBESAT SATELLITE ENGINEERING
MODEL: EXPERIMENTAL COMMUNICATION SYSTEM FOR SENDING AND
RECEIVING MIDI FILE, ORBIT AND GROUND STATION

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|------------------|----------|
| 1. นายเทียนไท | เจริญต้นธนกุล | 58010481 |
| 2. นายธันวา | อัมรินทร์ | 58010581 |
| 3. นายปิติพัฒน์ | รุ่งเรืองวัฒนชัย | 58010779 |


(ผศ.อัครพล ตริรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ทางคณะผู้จัดทำจำต้องกล่าวถึงเป็นอันดับแรก เนื่องจากเป็นบุคคลสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จได้ คือ ผศ. อัครพล ตรีรัตน์ และ ผศ. ดร. ศรววัฒน์ ชิวปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ คอยให้คำชี้แนะ อีกทั้งยังคอยช่วยในการวางแผนและดำเนินงานมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณชาย ทองใบ ผู้ดูแลศูนย์การเรียนรู้ ศาสตร์พระราชาคืนป่าสัก จังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นผู้อำนวยการความสะดวกในการเก็บกู้แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียม KMITL CUBESAT EM-3

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพความรู้อันเป็นประโยชน์ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและรุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และถ่ายทอดวิชาความรู้ด้านเทคโนโลยีให้แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าบุคคลที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ได้ เป็นผู้ให้กำเนิดและเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า อีกทั้งยังคอยเป็นกำลังใจและให้ความหวังแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

นายเทียนไท เจริญตันธนกุล

นายธันวา อิ่มทรัพย์

นายปิติพัฒน์ รุ่งเรืองวัฒนะชัย

ผู้จัดทำ

การพัฒนาแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CUBESAT ขนาด 1U เวอร์ชัน 3:
ระบบสื่อสาร การทดลองรับ-ส่งไฟล์ MIDI วงโคจร และระบบสถานีภาคพื้นดิน
Development of 1 U-CubeSat satellite Engineering Model:
Communication System, MIDI transferring, Orbit and ground station

โดย	นายเทียนไท	เจริญรัตน์กุล	58010481
	นายธันวา	อิมทรัพย์	58010581
	นายปิพัฒน์	รุ่งเรืองวัฒนะชัย	58010779

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อักรพล ตรีรัตน์

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U เวอร์ชัน 3 ในส่วนของระบบการสื่อสาร ทั้งในภาครับ ภาคส่ง และการกระจายสัญญาณของดาวเทียม โดยข้อมูลที่ใช้ในทดลองการรับ-ส่งสัญญาณของดาวเทียม จะเป็นข้อมูลประเภท MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ซึ่งข้อมูลที่ใช้จะอยู่ในรูปแบบของเสียงตัวโน้ต ซึ่งในรูปแบบของการติดต่อสื่อสารระหว่างแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CubeSat ขนาด 1U เวอร์ชัน 3 กับสถานีภาคพื้นดิน จะแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การติดต่อสื่อสารจากสถานีภาคพื้นดินไปยังแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CubeSat ในย่านความถี่ VHF ด้วยการมอดูเลตชั้นแบบ Frequency Shift Keying ที่เป็นรูปแบบ AFSK1200 และการติดต่อสื่อสารจากแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม CubeSat ไปยังสถานีภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ UHF ด้วยการมอดูเลตชั้นแบบ LoRa modulation รวมทั้งพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับสถานีภาคพื้นดินทั้ง 2 ประเภท ที่เป็น Mobile station ที่เป็นสถานีภาคพื้นดินที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อใช้ในการทดสอบควบคุมและรับสัญญาณในการทดสอบภาคสนามและพัฒนาโปรแกรมในการรับข้อมูล แสดงผลข้อมูล ที่เป็นประเภท MIDI ที่เป็น Fix station ซึ่งอยู่บนตาดฟ้าอาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นชุดการศึกษาการติดตามดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรจริง และปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ยังครอบคลุมในส่วนของจัดการข้อมูลสถานะของแบบจำลองดาวเทียม CubeSat ที่วัดจากตำแหน่ง GPS ซึ่งข้อมูลสถานะของดาวเทียมที่ถูกส่งลงมาที่สถานีภาคพื้นดินจะถูกนำไปประมวลผล และแสดงผลผ่านโปรแกรมที่สถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This thesis presents the development of 1 U version 3 CubeSat satellite engineering model in part of communication system. The data used to test the transmission signal of satellite is file of MIDI (Musical Instrument Digital Interface). The form of communication between the 1 U version 3 CubeSat satellite engineering model and the ground station will be divided into 2 forms: communication from the ground station to the CubeSat satellite engineering model in the VHF frequency with AFSK1200 and communication from the CubeSat satellite engineering model to ground stations in the UHF frequency with LoRa modulation. Including developing both of ground station: Mobile station that is mobile ground station for testing, controlling and receiving signals between the satellite model CubeSat and the ground station and Fix station that is huge ground station which installed on the rooftop of the 12-storey building, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Including developing software used in Fix station for tracking satellites that are in real orbit and this thesis also data management system which serves to process data then sent through the distribution of orders received from the ground station to control the operation of the satellite model CubeSat.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท	
2.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท (Engineering Model: EM)	3
2.2 การจัดการข้อมูลรูปแบบ MIDI	14
2.3 สถานีภาคพื้นดิน	15
2.4 การคำนวณ Link Budget	24
2.5 การมอดูเลชันในระบบการสื่อสาร	25
2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระบบการสื่อสาร	28
2.7 การติดตามดาวเทียม NOAA	31
2.8 Deployment ของสายอากาศ	32
บทที่ 3 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท	
3.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท	34
3.2 การออกแบบสถานีภาคพื้นดิน	56
3.3 การออกแบบการ Deploy สายอากาศ	65
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	68
3.5 การจัดเก็บผลการทดลอง	74
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบสายอากาศแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3	77
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของสายอากาศ UHF และ VHF	86
4.3 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายอากาศร่วมกับโมดูล	93

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4.4 ผลการตรวจสอบ CRC-32 ของระบบสื่อสาร	98
4.5 ผลการทดสอบเซนเซอร์ของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3	103
4.6 ผลการทดสอบสถานีภาคพื้นดิน	105
4.7 ผลการทดสอบ Deployment ของสายอากาศ	110
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผล	115
5.2 ข้อเสนอแนะ	116
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท	3
2.2	ATmega328p	4
2.3	ATmega2560	5
2.4	โมดูล LoRa6100AES	7
2.5	โมดูล SA818-VHF	8
2.6	สายอากาศไดโพล	9
2.7	โมดูล GPS NEO-6M Ublox	10
2.8	โครงสร้างไฟล์ MIDI	15
2.9	สายอากาศยาคีอูดย่านความถี่ UHF	16
2.10	สายอากาศยาคีอูดย่านความถี่ VHF	16
2.11	หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW	18
2.12	หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Orbitron	19
2.13	หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม PstRotator	20
2.14	หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม MyDDE	20
2.15	SDR Dongle	21
2.16	หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม SDRSharp	21
2.17	Yaesu รุ่น G-5500	22
2.18	ชุด GS-232	23
2.19	ภาพรวมของชุดควบคุม Rotator	24
2.20	สัญญาณเชิงรูปความชันคงที่ (Constant Ramp Chirp Signal) และสเปกตรัมของสัญญาณที่ทำ LoRa modulation	26
2.21	สัญญาณ Up-chirp ในโดเมนเวลา	27
2.22	การใช้เทคนิค On-Off-Keying (OOK)	27
2.23	โพลีโนเมียลและการแทนค่าเป็นตัวหาร	29
2.24	วิธีการคำนวณ CRC	30
2.25	มาตรฐานของโพลีโนเมียล	30
2.26	TIP120	32
2.27	ลวดนิโครม	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.28	ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano	33
3.1	โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1	35
3.2	วงจรของส่วนอุปกรณ์เซนเซอร์และสื่อสารของ EM-1 (Layer 1)	36
3.3	วงจรของส่วนประมวลผลของ EM-1 (Layer 2)	36
3.4	โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2	37
3.5	ลายวงจรส่วนสื่อสารของ EM-2 (Layer 1 ด้านบน)	37
3.6	ลายวงจรส่วนสื่อสารของ EM-2 (Layer 1 ด้านล่าง)	38
3.7	ลายวงจรส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูลของ EM-2 (Layer 2 ด้านบน)	38
3.8	ลายวงจรส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูลของ EM-2 (Layer 2 ด้านล่าง)	39
3.9	โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3	40
3.10	โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ที่เป็น Layer ส่วนสายอากาศ Layer ส่วนโมดูลสื่อสาร และ Layer ส่วนการประมวลผลและจัดการข้อมูล	40
3.11	ลายวงจรส่วนสายอากาศของ EM-3 (ด้านหน้า)	41
3.12	ลายวงจรส่วนสายอากาศของ EM-3 (ด้านหลัง)	42
3.13	Layer ของชั้นเสาอากาศของ EM-3 (ด้านหน้า)	42
3.14	Layer ของชั้นสายอากาศของ (EM-3 ด้านหลัง)	43
3.15	Layer ของชั้นส่วนโมดูลสื่อสารของ EM-3 (ด้านบน)	44
3.16	Layer ของชั้นส่วนโมดูลสื่อสารของ EM-3 (ด้านหลัง)	44
3.17	Serial monitor แสดงการกำหนดค่าการทำงานของโมดูล SA818-VHF	45
3.18	การกำหนดค่าการทำงานของโมดูล LoRa6100AES	46
3.19	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของส่วนการสื่อสารในแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ระหว่างดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 และสถานีภาคพื้นดิน	49
3.20	รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างส่วนการทำงานของแบบจำลองดาวเทียม	50
3.21	รูปแบบ Packet ที่ใช้ในการสื่อสาร	51
3.22	รูปแบบ Packet ที่ใช้ในการสื่อสารที่มี Sequence byte	51
3.23	ข้อมูลเลขฐาน 16 เทียบกับข้อมูล ASCII code เดิมของข้อมูลประเภท MIDI	52
3.24	ข้อมูล ASCII code เป็นอักขระในรูปเลขฐาน 16 รูปแบบไฟล์ Text	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.25	Flow chart แสดงการทำงานการแบ่งข้อมูล MIDI เป็น Packet ที่มี Sequence part	54
3.26	Flow chart แสดงการทำงานการรับข้อมูล MIDI เป็น Packet ที่มี Sequence part	55
3.27	Connector ที่เชื่อมต่อกับตัว Rotator	56
3.28	การเชื่อมต่อตัว Connector กับตัว Rotator	57
3.29	การเชื่อมต่อตัว Connector กับชุดควบคุม Manual	57
3.30	สถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้	58
3.31	สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่	59
3.32	แผนผังการเชื่อมต่อ G-5500 กับชุด Interface GS-232C	60
3.33	การเชื่อมต่อ G-5500 กับชุด Interface GS-232C	61
3.34	กระบวนการทำงานของการติดตามดาวเทียมด้วยชุด Rotator G-5500	62
3.35	หน้าต่างการทำงานในโหมดการแสดงผลหลัก	64
3.36	หน้าต่างการทำงานในโหมดการทำงานส่วนแสดงผลข้อมูลรูปแบบ MIDI	65
3.37	วงจรของระบบการ Deployment ของสายอากาศ	66
3.38	Flow chart การทำงานระบบ Deployment สายอากาศ	67
3.39	หน่วยประมวลผล ATmega328p	68
3.40	หน่วยประมวลผล ATmega2560	68
3.41	โมดูล LoRa6100AES	69
3.42	โมดูล SA818-VHF	69
3.43	โปรแกรม CST studio suit	70
3.44	โปรแกรม LabVIEW	70
3.45	โปรแกรม Arduino	71
3.46	Arduino NANO	71
3.47	โมดูล USB2.0 to TTL UART 6 PIN	72
3.48	เครื่อง Oscilloscope รุ่น DSOX1102G	72
3.49	GPS NEO-6M Ublox	73
3.50	SDR Dongle	73
3.51	โปรแกรม SDRSharp	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	การ Simulation สายอากาศ VHF	78
4.2	ค่า VSWR ที่ได้จากการ Simulation สายอากาศ VHF	78
4.3	Beam Patterns จากการ Simulation สายอากาศ VHF	79
4.4	การ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm	79
4.5	ค่า VSWR ที่ได้จากการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm	80
4.6	Beam Patterns จากการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm	80
4.7	VSWR ของสายอากาศไดโพลที่ความยาว L ต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm	81
4.8	การ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm	82
4.9	S-Parameters ของการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm	82
4.10	VSWR ของการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm	83
4.11	สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm, L 98.5 cm	84
4.12	สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm, L 33.8 cm	84
4.13	ทดสอบสายอากาศ VHF และ UHF ในห้องปฏิบัติการไร้การสะท้อน	85
4.14	กราฟ S11 จากการวัดสายอากาศย่าน VHF	85
4.15	กราฟ S11 จากการวัดสายอากาศย่าน UHF	86
4.16	สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 144.39 MHz ด้วย SDR sharp	87
4.17	สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 144.39 MHz ด้วย Spectrum analyzer	88
4.18	การต่อสายอากาศ VHF เข้ากับวิทยุสื่อสาร Walkie Talkie ตรงที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์	88
4.19	ระยะห่างระหว่างตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังถึงบริเวณปลายรั้วของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รวมระยะทางทั้งหมด 8.76 km	89
4.20	สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 432.92 MHz ด้วย SDR sharp	90
4.21	สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 432.92 MHz ด้วย Spectrum analyzer	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่			หน้า
4.22	การทดสอบการรับ-ส่ง สัญญาณของสายอากาศทั้งฝั่ง VHF และ UHF		91
4.23	หน้าจอ Command ของ โมดูล UHF ที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์		91
4.24	โมดูล UHF ต่อเข้ากับสายอากาศฝั่ง UHF ตรงที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะ วิศวกรรมศาสตร์		92
4.25	โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ		92
4.26	หน้าจอ Command ของ โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ของท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ		93
4.27	สัญญาณแสดงชุดคำสั่งที่ใช้ในการส่ง		94
4.28	Serial monitor แสดงข้อมูลการตรวจสอบ CRC-32 ที่เป็นชุดคำสั่งส่ง MIDI		94
4.29	สเปกตรัมการส่งข้อมูลรูปแบบ MIDI ในย่านความถี่ UHF		95
4.30	ข้อมูลรูปแบบ MIDI ที่รับได้		96
4.31	Serial monitor แสดงข้อมูลรูปแบบ Text ที่รับได้		96
4.32	สเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลรูปแบบ Text รับได้		97
4.33	Serial monitor แสดงข้อมูลที่รับได้หลังผ่านการ Demodulation แล้ว		97
4.34	สเปกตรัมแสดงข้อมูล Text ส่งไป		98
4.35	Serial monitor แสดง CRC32 ของ csk3:13;cyHello World		99
4.36	Serial monitor แสดง CRC-32 ของ csk3:01;a		99
4.37	Serial monitor แสดง CRC-32 ของ csk3:03;md1		99
4.38	สัญญาณแสดงการส่ง csk3:13;cyHello World\$>Kí		100
4.39	สัญญาณแสดงการส่ง csk3:01; aè·¾C		100
4.40	สัญญาณแสดงการส่ง csk3:03;md1i /ø		101
4.41	Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:13;cyHello World\$>Kí		101
4.42	Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:01;aè·¾C		102
4.43	Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:03;md1i/ø		102
4.44	Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ผิดพลาด		103
4.45	Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ถูกต้องแต่ข้อมูลที่ส่งผิดพลาด		103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.46	การทดสอบการทำงานของโมดูล GPS NEO-6M Ublox	104
4.47	ตำแหน่งพิกัดจาก Google map	104
4.48	ตำแหน่งของดาวเทียม NOAA15 ในโปรแกรม Orbitron	105
4.49	ข้อมูลที่ทำกรส่งจากโปรแกรม Orbitron เข้าสู่โปรแกรม Pstrotator	106
4.50	โปรแกรม Orbitron ปรับมุม Azimuth และมุม Elevation	106
4.51	โปรแกรม SDRsharp แสดงสเปกตรัมของดาวเทียม NOAA15 ที่รับได้	107
4.52	ข้อมูลจากดาวเทียม NOAA15 รูปแบบเสียง	107
4.53	ข้อมูลจากดาวเทียม NOAA15 รูปแบบภาพ	108
4.54	รูปจากฐานข้อมูลดาวเทียม NOAA15 (http://weatherthai.com/noaa/index.php)	108
4.55	สเปกตรัมแสดงการรับสัญญาณความถี่ที่ 144.39 MHz ด้วยสถานีภาคพื้นดิน แบบเคลื่อนที่ได้	109
4.56	สเปกตรัมแสดงการรับสัญญาณความถี่ที่ 432.92 MHz ด้วยสถานีภาคพื้นดิน แบบเคลื่อนที่ได้	110
4.57	สัญญาณแสดงค่าความต่างศักย์ที่ Base pin ของ TIP120	111
4.58	สัญญาณแสดงค่าความต่างศักย์ที่ Collector pin ของ TIP120	111
4.59	แบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทท์ที่ทำการเก็บสายอากาศอยู่	112
4.60	แบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทท์ที่ Deploy สายอากาศแล้ว	113
4.61	ลวดนิโครมจะทำการตัดเชือกที่ทำการเก็บสายอากาศ	113
4.62	ระบบ Deployment ของสายอากาศก่อนทำงาน	114
4.63	ระบบ Deployment ของสายอากาศหลังทำงาน	114

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณลักษณะของ ATmega328p	5
2.2	คุณลักษณะของ ATmega2560	6
2.3	คุณลักษณะของโมดูล LoRa6100AES	7
2.4	คุณลักษณะของโมดูล SA818-VHF	8
2.5	คุณลักษณะของโมดูล GPS NEO-6M Ublox	10
2.6	คำอธิบายประโยคใน GGA Protocol	12
2.7	คำอธิบายประโยคใน RMC Protocol	13
2.8	คุณลักษณะของสายอากาศวิทยุคลื่นความถี่ UHF	17
2.9	คุณลักษณะของสายอากาศวิทยุคลื่นความถี่ VHF	17
2.10	ผลการปฏิบัติการด้วยโอเปอเรชั่น Exclusive-OR	28
2.11	ความถี่วิทยุของดาวเทียม	31
2.12	คุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano	33
3.1	คุณลักษณะที่ต้องการของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท	34
3.2	เปรียบเทียบคุณสมบัติส่วนการสื่อสารดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1, EM-2 และ EM-3	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอวกาศได้พัฒนาไปก้าวไกลมากขึ้น หนึ่งในนั้นคือ ดาวเทียม คิวบ์แซท ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างมากทั้งในด้านการศึกษาและพัฒนาความรู้ด้านเทคโนโลยีดาวเทียม เพื่อที่ในอนาคตจะสามารถสร้างดาวเทียมใช้เองได้ภายในประเทศ การที่สามารถสร้างดาวเทียมใช้เองได้เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อดาวเทียมจากต่างประเทศได้อย่างมาก ดาวเทียมคิวบ์แซท เป็นดาวเทียมขนาดเล็กที่ได้มาตรฐานทั้งขนาด มวล พลังงาน และกำหนดการปล่อยดาวเทียม ส่วน การออกแบบและสร้างดาวเทียมคิวบ์แซทนั้นจะใช้อุปกรณ์ที่ถูกทดสอบว่าสามารถใช้งานในอวกาศได้

ดาวเทียมคิวบ์แซทเป็นดาวเทียมที่ต้องได้รับการออกแบบและสร้างให้สามารถทำการ ติดต่อสื่อสารได้ในระยะไกล เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอวกาศ ซึ่งก่อนที่จะส่ง ดาวเทียมคิวบ์แซทออกสู่อวกาศจริงนั้นจำเป็นต้องมีการทดสอบดาวเทียมด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยต้องมี สภาวะใกล้เคียงสภาวะในอวกาศ หนึ่งในวิธีที่สามารถใช้ทดสอบได้นั้น คือการผูกดาวเทียมคิวบ์แซทกับ บอลลูนขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถนำดาวเทียมคิวบ์แซทขึ้นไปได้ที่ความสูงได้สูงสุดประมาณ 25 km โดยที่ ระดับความสูงนี้สภาพแวดล้อมภายนอกจะมีอุณหภูมิและความกดอากาศคล้ายกับอวกาศ ส่งผลให้ สามารถจำลองการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมคิวบ์แซทได้เหมือนอยู่บน อวกาศจริง และด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมทำให้การทดสอบวิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการทดสอบ ดาวเทียมก่อนส่งขึ้นอวกาศจริง

ในปัจจุบันดาวเทียมคิวบ์แซทถูกพัฒนาให้มีหลายระบบอยู่รวมกัน เช่น ระบบพลังงาน ระบบจัดการข้อมูล ระบบถ่ายภาพ และอีกหนึ่งระบบคือระบบการสื่อสาร ซึ่งเป็นระบบที่ทำให้ ดาวเทียมคิวบ์แซทสามารถรับและส่งข้อมูลกับสถานีภาคพื้นดินได้ เป็นส่วนสำคัญอย่างมากส่วนหนึ่ง ในดาวเทียมคิวบ์แซท เพราะในเมื่อถ้าส่วนสื่อสารของดาวไม่สามารถสื่อสารได้ จะทำให้การปฏิบัติ ภารกิจของดาวเทียมนั้นไม่สามารถทราบผลการปฏิบัติการได้เลย ดังนั้นจึงควรพัฒนาส่วนสื่อสารของ ดาวเทียมคิวบ์แซทให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะทำให้ดาวเทียมคิวบ์แซทสามารถปฏิบัติภารกิจ และทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เกิดประโยชน์สูงสุด

ปริญญานิพนธ์นี้จึงนำเสนอระบบสื่อสารของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์ แซท EM-3 โดยการนำเอาข้อผิดพลาดของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 และ EM-2 มาวิเคราะห์หาวิธีการแก้ไข และนำแนวทางแก้ไขดังกล่าวมาพัฒนาต่อ ซึ่งในแบบจำลองทาง วิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 อาศัยสายอากาศไดโพลที่มีทั้งย่านความถี่ UHF และ VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้แบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซทสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน ร่วมกับการใช้โมดูลสื่อสารที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 มีภารกิจที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือการทดสอบรับส่งข้อมูลรูปแบบ MIDI ซึ่งเป็นข้อมูลรูปแบบหนึ่งมา ทดสอบการรับและส่งข้อมูล รวมทั้งการกระจายสัญญาณจากแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์ แซทลงมาสถานีภาคพื้นดินและจากสถานีภาคพื้นดินขึ้นไปบนดาวเทียมคิวบ์แซท รวมถึงสถานี ภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ด้วย นอกจากนี้สถานีภาคพื้นดินทั้งสองจะมีการติดตามดาวเทียม เพื่อเป็นการ เพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารให้เพิ่มมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อการศึกษาระบบสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม CubeSat ขนาด 1 U เวอร์ชัน 3
- 2) เพื่อทำการทดลองรับ-ส่งไฟล์ข้อมูล MIDI และการกระจายข้อมูลรูปแบบ MIDI สู่สถานี ภาคพื้นดิน
- 3) เพื่อการพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่

1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์

- 1) พัฒนาระบบสื่อสารทั้งส่วนที่เป็น VHF และ UHF, ศึกษาและใช้งาน AX.25 Protocol/Modem, การสร้างสัญญาณ Beacon เพื่อการติดตามตัวดาวเทียม และ สายอากาศสลับเมตรและกระบวนการ Deploy สายอากาศ
- 2) ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์และระบบควบคุมสายอากาศ Rotator บนสถานีภาคพื้นดิน, การ เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ Orbit Tracking และพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับสถานีที่เป็นสถานี ภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ เพื่อการทดสอบควบคุมและรับสัญญาณในการทดลองภาคสนาม
- 3) พัฒนาการส่งข้อมูลรูปแบบ MIDI ขึ้นสู่ดาวเทียม (จากสถานีภาคพื้นดิน) และการกระจาย ข้อมูลรูปแบบ MIDI ดังกล่าวสู่สถานีภาคพื้นดิน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการของการจำลองทางวิศวกรรม

ดาวเทียมคิวบ์แซท

2.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท (Engineering Model: EM)

แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทในปริญญาโทนี้มีขนาด 1 Unit (10 cm × 10 cm × 10 cm) ได้กำหนดให้มีภารกิจหลัก คือ การกระจายถ่ายเทข้อมูลในรูปแบบ MIDI และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท ที่ระดับความสูง 20 km สู่อวกาศพื้นดิน โดยแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทนี้แสดงดังรูปที่ 2.1

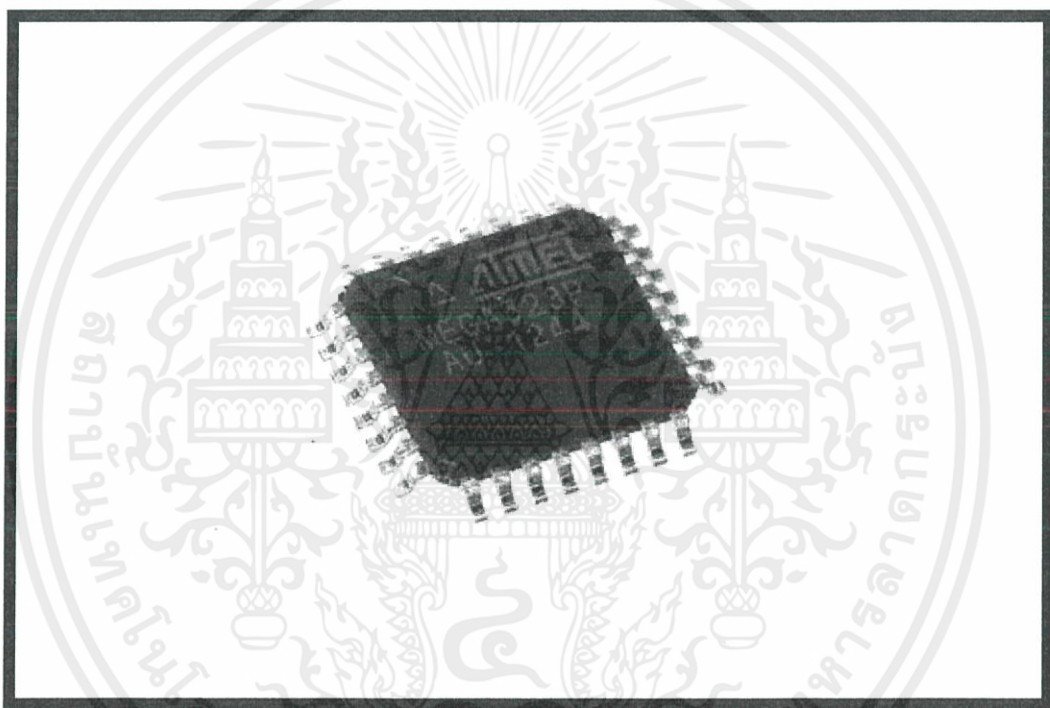


รูปที่ 2.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท

2.1.1 ระบบจัดการข้อมูลและควบคุมการทำงาน

ระบบจัดการข้อมูลออนบอร์ด (On-board Data Handling: OBDH) ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลในส่วนของระบบสื่อสารโดยใช้ Atmega328p ดังรูปที่ 2.2 มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.1 และ Atmega2560 ดังรูปที่ 2.3 มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.2

2.1.1.1 ATmega328p



รูปที่ 2.2 ATmega328p

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของ ATmega328p

Parameter	Value
CPU type	8-bit AVR
Performance	20 MIPS at 20 MHz
Flash memory	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Pin count	28 or 32 pin: PDIP-28, MLF-28, TQFP-32,
Maximum operating frequency	20 MHz
Number of touch channels	16
Hardware QTouch Acquisition	No
Maximum I/O pins	23
External interrupts	2
USB Interface	No

2.1.1.2 ATmega2560



รูปที่ 2.3 ATmega2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ ATmega2560

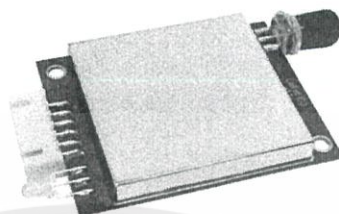
Name	Value
Program Memory Type	Flash
Program Memory Size (KB)	256
CPU Speed (MIPS/DMIPS)	16
SRAM Bytes	8,192
Data EEPROM/HEF (bytes)	4096
Digital Communication Peripherals	4-UART, 5-SPI, 1-I2C
Capture/Compare/PWM Peripherals	4 Input Capture, 4 CCP, 16PWM
Timers	2 x 8-bit, 4 x 16-bit
Number of Comparators	1
Temperature Range (C)	-40 to 85
Operating Voltage Range (V)	1.8 to 5.5
Pin Count	100

2.1.2 ระบบสื่อสาร

ระบบสื่อสารเป็นส่วนประกอบหลักที่ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน โดยโมดูลสื่อสารที่แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทใช้ในปริญญาโทครั้งนี้ คือ โมดูล LoRa6100AES และ โมดูล SA818-VHF

2.1.2.1 โมดูล LoRa6100AES

LoRa6100AES เป็นโมดูลสื่อสารไร้สายที่ใช้ชิป SX1276/1278 โมดูลเลขชั้นแบบ LoRa ซึ่งเป็นแบบการมอดูเลชันที่มาจากเทคโนโลยีของ LoRa เพื่อให้ได้ความไวที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการมอดูเลชันแบบ FSK และ GFSK และป้องกันการแทรกแซงที่เหนือกว่า โดยโมดูลนี้จะใช้การเข้ารหัสแบบ AES128 เพื่อความปลอดภัยที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.4 และมีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.4 โมดูล LoRa6100AES

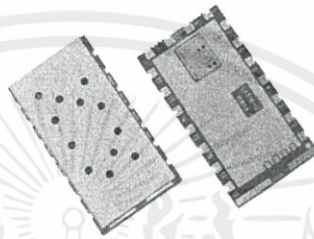
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของโมดูล LoRa6100AES

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Frequency range	414.92	433.92	453.92	MHz
	470.92	490.92	509.92	MHz
	849.92	868.92	888.92	MHz
	895.92	914.92	934.92	MHz
Data rate	91	656	17353	bps
Output power range	0	/	+30	dBm
	0	/	+27	dBm
Sensitivity		-139		dbm

2.1.2.2 โมดูล SA818-VHF

SA818-VHF เป็นโมดูลเครื่องรับส่งวิทยุแบบพกพาโดยมาพร้อมกับระบบภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูง ตัวรับคลื่นความถี่วิทยุช่วงแคบ RF และเครื่องขยายสัญญาณ RF

SA818 มีอินเตอร์เฟซมาตรฐาน UART ซึ่งง่ายต่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและควบคุมการทำงานของโมดูล ดังรูปที่ 2.5 และมีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.4



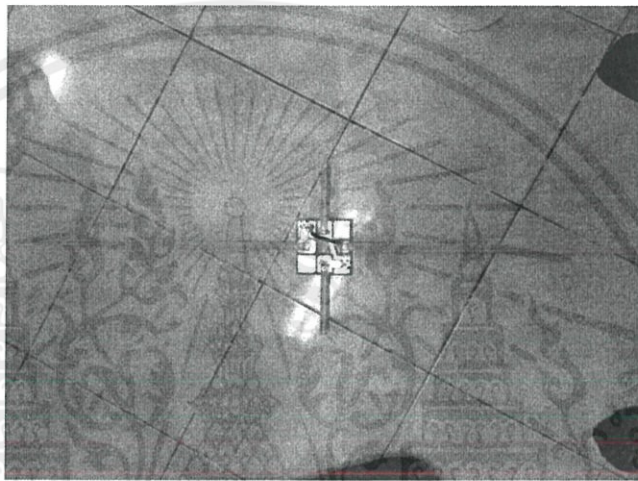
รูปที่ 2.5 โมดูล SA818-VHF

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะของโมดูล SA818-VHF

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Frequency range (UHF)	400		480	MHz
Frequency range (VHF)	134		174	MHz
Output power (high power)	28	29.5	31	dBm
Output power (low power)	25	26.5	27	dBm
Receiving sensitivity		-124		dBm
Receiving SNR	45	50		dB
Audio output amplitude		700		mV
Audio output impedance		200		OHm

2.1.2.3 สายอากาศไดโพล

สายอากาศที่ใช้ คือ สายอากาศไดโพล ที่สามารถรองรับการทำงานในความถี่ได้สองช่วงทั้ง VHF (143 MHz - 146 MHz) และ UHF (430 MHz - 460 MHz) ดังรูปที่ 2.6



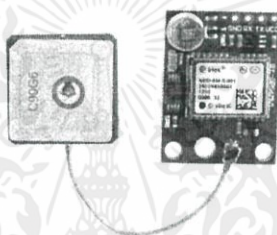
รูปที่ 2.6 สายอากาศไดโพล

ในส่วนของวิธีการสร้างนั้นอาศัยหลักการคำนวณอย่างง่ายโดยนำความถี่ที่ต้องการจะใช้งานมาแปลงเป็นความยาวคลื่น จะได้ความยาวของสายอากาศไดโพลทั้งหมด ซึ่งเมื่อเราได้ความยาวของสายอากาศไดโพลมาแล้วต้องนำมาหารครึ่งหนึ่ง ในกรณีที่ออกแบบไดโพลที่เป็นรูปแบบ Half-wavelength เพื่อหาความยาวของแต่ละองค์ประกอบที่จะนำไปทำสายอากาศไดโพล

2.1.3 เซนเซอร์เพย์โหลด

2.1.3.1 โมดูล GPS NEO-6M Ublox

โมดูล GPS NEO-6M Ublox แสดงดังรูปที่ 2.7 [11] เป็นจีพีเอสโมดูลที่ใช้ชิพ Aircraft FZ0040 สามารถติดตามดาวเทียมได้ถึง 22 ดวงบน 50 ช่องสัญญาณ จีพีเอสโมดูลมีอัตราการอัปเดต 1 ถึง 5 Hz ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งอยู่ที่ 2.5 m โดยให้เอาต์พุตมาตรฐาน NMEA-0183 สามารถเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงผ่าน Serial UART และมีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.7 โมดูล GPS NEO-6M Ublox

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะของโมดูล GPS NEO-6M Ublox

รายละเอียด	GPS NEO-6M Ublox
แรงดันไฟฟ้าเข้า	3 ถึง 5 โวลต์
Baud Rate	9.6 กิโลบิตต่อวินาที
ความถี่	1.5 กิกะเฮิรตซ์
ความไว	-161 dBm
ข้อจำกัดการวัด	ความสูง 50,000 เมตร ความเร็ว 500 เมตรต่อวินาที
การบริโภคกระแส	สูงสุด 67 มิลลิแอมป์
ขนาดตัวโมดูล	23 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร
ขนาดสายอากาศ	25 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร

- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก คือระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียม ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกที่โคจรอยู่รอบโลกซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก โดยเครื่องรับสัญญาณระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกรุ่นใหม่จะสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางนำมาใช้ร่วมกับโปรแกรมแผนที่ เพื่อใช้ในการนำทางได้

ดาวเทียมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit: MEO) ที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 km จากพื้นโลก ใช้การยืนยันตำแหน่งโดยอาศัยพิกัดจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ดาวเทียมจะโคจรรอบโลกเป็นเวลา 4 ถึง 8 hrs/round ที่ความเร็ว 4 km/s การโคจรแต่ละรอบนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 6 ระยะเวลา ละ 4 ดวง ทำมุม 55° โดยทั้งระบบจะต้องมีดาวเทียม 24 ดวง หรือมากกว่า เพื่อให้สามารถยืนยันตำแหน่งได้ครอบคลุมทุกจุดบนพื้นผิวโลก

- NMEA

NMEA ย่อมาจาก Nation Maritime Electronics Association ซึ่งเป็นสมาคมที่มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อเชื่อมต่อและทำงานร่วมกันต้องสามารถเข้าใจกันได้ หรือสื่อสารโดยใช้ภาษาเดียวกัน NMEA จึงพัฒนามาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ดังกล่าว เรียกว่า NMEA Standard ซึ่งระบุข้อมูลการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าและรูปแบบของข้อมูล

มาตรฐาน NMEA-0183 ใช้อักษรเป็น ASCII Text โดยข้อมูลจะถูกส่งในรูปแบบของประโยค (Sentences) ซึ่งรูปแบบประโยค NMEA (NMEA Sentence) แบ่งได้ดังนี้

1) GGA (Global Positioning System Fix Data) เป็นรูปแบบที่แสดงข้อมูลของ GPS ซึ่งเพียงพอที่จะแสดงพิกัดได้ในระยะนาบ 3 มิติ โดยดาวเทียมที่รับได้ต้องมากถึง 4 ดวงขึ้นไป ตัวอย่างและคำอธิบายประโยคใน GGA Protocol แสดงดังตารางที่ 2.6 [12]

ตารางที่ 2.6 คำอธิบายประโยคใน GGA Protocol

ชื่อ	ตัวอย่าง	คำอธิบาย
Message ID	\$GPGGA	GGA Protocol Header
UTC Time	064951.000	hhmmss.sss (06:49:51)
Latitude	2307.1256	ddmm.mmmm (23 องศา 07.1256 ลิปดา)
N/S Indicator	N	N=ทิศเหนือ, S=ทิศใต้
Longitude	12016.4438	dddmm.mmmm (120 องศา 16.4438 ลิปดา)
E/W Indicator	E	E=ทิศตะวันออก, W=ทิศตะวันตก
Position Fix Indicator	1	0 = Fix not available 1 = GPS fix 2 = Differential GPS fix
Satellites used	8	จำนวนดาวเทียมที่ใช้
HDOP	0.95	ค่าสถานภาพทางเรขาคณิตของตำแหน่งดาวเทียมทางราบ
MSL Altitude	39.9	ความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย
	M	หน่วยเมตร
Geoid Separation	17.8	ระยะ Geoid
Units	M	หน่วยเมตร
Age of Diff. Corr.		ไม่มีข้อมูลหมายถึงไม่ได้ใช้งาน DGPS
Checksum	*65	การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) RMC (Recommended Minimum sentence) ตัวอย่างและคำอธิบายประโยคใน RMC Protocol แสดงดังตารางที่ 2.7 [12]

ตารางที่ 2.7 คำอธิบายประโยคใน RMC Protocol

ชื่อ	ตัวอย่าง	คำอธิบาย
Message ID	\$GPRMC	RMC Protocol Header
UTC Time	123519	hhmmss.sss (12:35:19)
Status	A	A=active หรือ V=Void
Latitude	4807.038	dddmm.mmmm (48 องศา 07.038 ลิปดา)
N/S Indicator	N	N=ทิศเหนือ, S=ทิศใต้
Longitude	01131.000	dddmm.mmmm (11 องศา 31.000 ลิปดา)
E/W Indicator	E	E=ทิศตะวันออก, W=ทิศตะวันตก
Speed	022.4	ความเร็ว 22.4 knots
Heading	084.4	Track angle 84.4 °
Date	230394	Ddmmyy (23 มีนาคม 2537)
Magnetic Variation	003.1W	Magnetic declination 3.1W °
Checksum	*6A	การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

2.2 การจัดการข้อมูลรูปแบบ MIDI

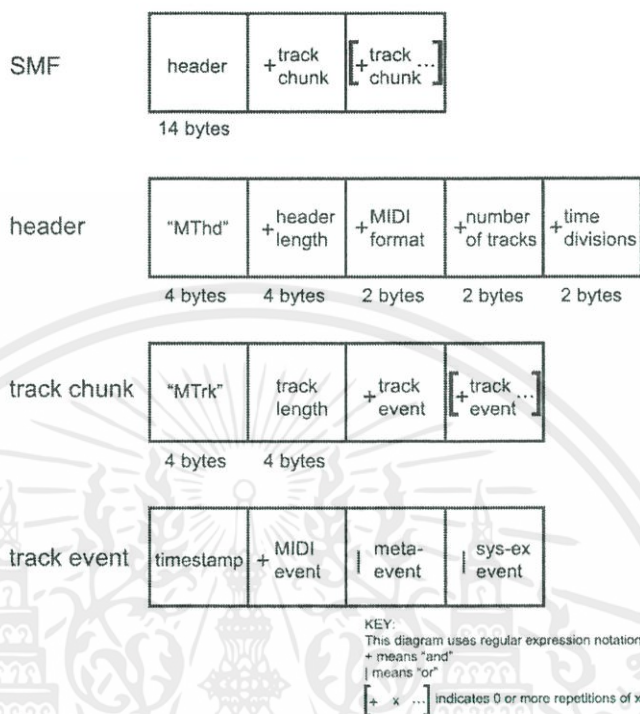
เนื่องจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซทนี้มีหนึ่งในภารกิจ คือ การกระจายสัญญาณข้อมูลไฟล์ MIDI สู่ภาคพื้นดิน ซึ่งการรับสัญญาณข้อมูลไฟล์ MIDI จากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซท จะต้องมีการจัดรูปแบบของข้อมูลไฟล์ MIDI ก่อน จึงจะสามารถแสดงผลออกสู่ผู้รับข้อมูลได้

2.2.1 ข้อมูลรูปแบบ MIDI

ไฟล์ MIDI (Musical Instrument Digital Interface) นั้นมีความแตกต่างจากไฟล์เสียงทั่วไปเช่นไฟล์ MP3 หรือ WAV คือ ไฟล์ MIDI ไม่มีข้อมูลเสียงที่แท้จริงและมีขนาดเล็กกว่ามาก ตัวอย่างเช่น ไฟล์ MIDI อธิบายว่ามีการบันทึกย่ออะไรบ้างและควรจุดโน้ตแต่ละครั้งไว้นานเท่าใด จึงทำให้ไฟล์ MIDI เหมาะสำหรับการรับส่งระหว่างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซทและสถานีภาคพื้นดิน

2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบ MIDI

บล็อกข้อมูลในไฟล์ MIDI เรียกว่า Chunks โดยเริ่มจาก Header chunk และตามด้วยหนึ่งหรือหลายๆ Track chunk โดย Header Chunk เริ่มต้นด้วย 4 Bytes (สตริงที่มีอักขระสี่ตัว) ซึ่งระบุประเภทของ Chunk ตามด้วย 2 Bytes บอกรูปแบบ (MIDI 0, 1 หรือ 2) 2 Bytes บอกจำนวน Track และ 2 Bytes ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการจัดการเวลา ส่วน Track chunk ก็เริ่มต้นด้วย 4 Bytes บอกชนิดของ Chunk ตามด้วย 4 Bytes บอกว่าข้อมูลใน Chunk มีมากเท่าใด จากนั้นตามด้วย Track event ซึ่งประกอบไปด้วย Timestamp event บอกเวลาที่จะเกิด Event ขึ้น และ Meta-events บอกการเปลี่ยนแปลงจังหวะ คีย์ แล้วตามด้วย Sys-ex event ระบุข้อความพิเศษของไฟล์ MIDI โครงสร้างของไฟล์ MIDI จะแสดงในรูปที่ 2.8 [8]



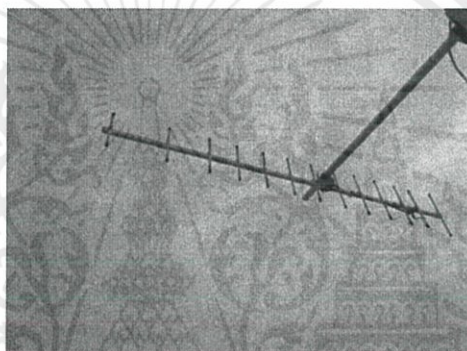
รูปที่ 2.8 โครงสร้างไฟล์ MIDI

2.3 สถานีภาคพื้นดิน

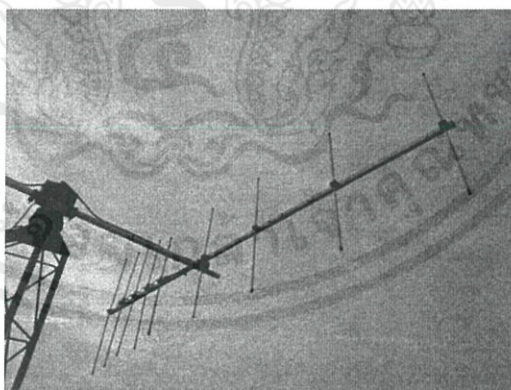
ในส่วนของสถานีภาคพื้นดินนั้นจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซทและสั่งคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น คำสั่งส่งข้อความ คำสั่งถ่ายภาพ คำสั่งส่งข้อมูล MIDI เป็นต้น

2.3.1 สายอากาศสถานีภาคพื้นดิน

สำหรับสายอากาศที่ใช้ในสถานีภาคพื้นดิน คือ สายอากาศยาก็ 2 ย่านความถี่ ซึ่งมีย่าน UHF และ VHF เนื่องจากมีอัตราขยายที่สูงและมีรูปแบบของแผ่สัญญาณแบบเจาะจงทิศทาง จึงใช้สายอากาศยาก็อุตะย่านความถี่ UHF มีรายละเอียดและคุณลักษณะตามตารางที่ 2.8 ดังรูปที่ 2.9 และสายอากาศยาก็อุตะย่านความถี่ VHF มีรายละเอียดและคุณลักษณะตามตารางที่ 2.9 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 สายอากาศยาก็อุตะย่านความถี่ UHF



รูปที่ 2.10 สายอากาศยาก็อุตะย่านความถี่ VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะของสายอากาศยาคีอุตะย่านความถี่ UHF

รายละเอียด	สายอากาศยาคี
องค์ประกอบ	13
ความถี่ที่ใช้งาน	400 – 450 MHz
อัตราขยาย	15.10 dBi
VSWR	1:<1.5
Front/Back	16.10 dB
ความกว้างบีม	33.6°
Sidelobe Gain	-1 dBi
Front/Sidelobe	16.10 dB
Connector	N-type

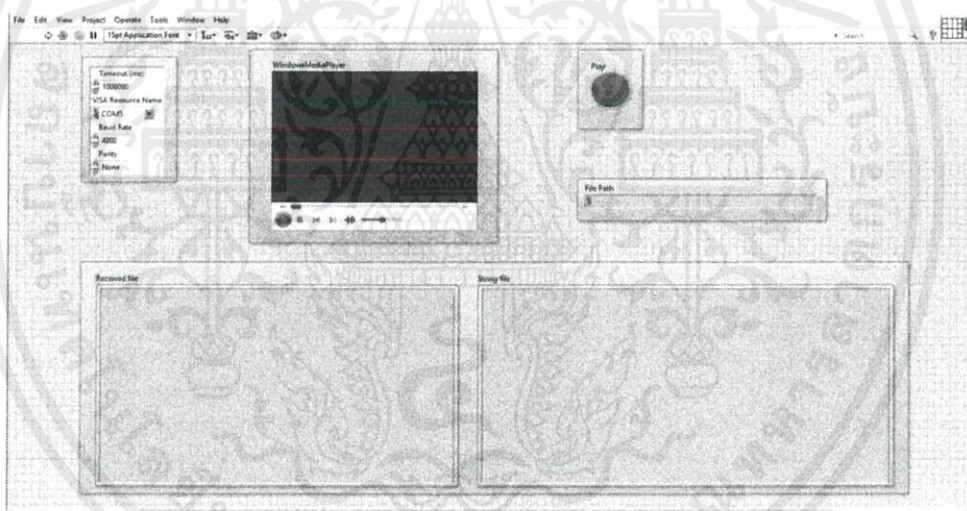
ตารางที่ 2.9 คุณลักษณะของสายอากาศยาคีอุตะย่านความถี่ VHF

รายละเอียด	สายอากาศยาคี
องค์ประกอบ	9
ความถี่ที่ใช้งาน	144 – 147 MHz
อัตราขยาย	17.65 dBi
VSWR	1:<1.5
Front/Back	13.21 dB
ความกว้างบีม	30.8°
Sidelobe Gain	-1 dBi
Front/Sidelobe	13.21 dB
Connector	N-type

2.3.2 ซอฟต์แวร์ของสถานีภาคพื้นดิน

2.3.2.1 ส่วนการประมวลผลข้อมูล

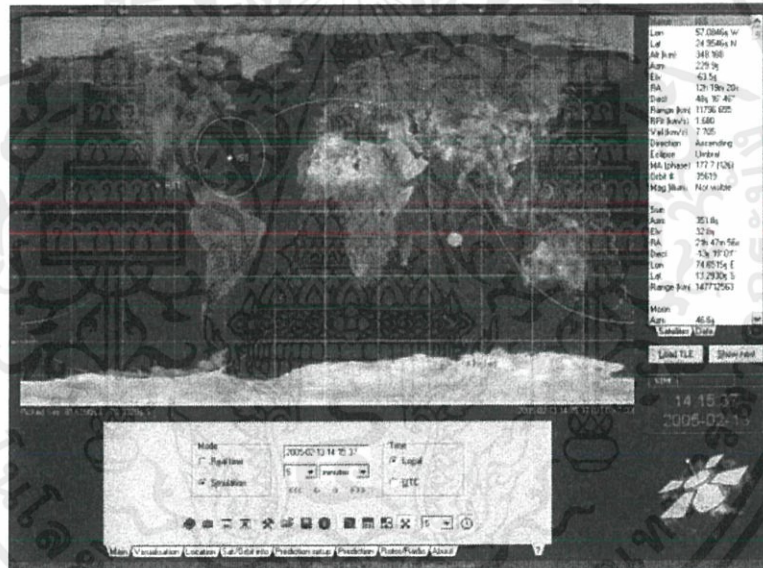
ส่วนของการประมวลผลข้อมูลในสถานีภาคพื้นดินนั้น จะใช้คอมพิวเตอร์มาทำการรับเฟรมข้อมูลจากโมดูลสื่อสารไร้สายและประมวลผลข้อมูลได้แก่ การแยกข้อมูลจากเฟรมข้อมูลเพื่อแสดงผล รวมถึงการส่งคำสั่งการทำงานไปยังดาวเทียมคิวบ์แซท โดยในส่วนของ การประมวลผลและแสดงผลข้อมูลนั้นถูกออกแบบด้วยโปรแกรม LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) ดังรูปที่ 2.11 ในการเขียนโปรแกรมจะมีลักษณะที่เป็นการเขียนโปรแกรมเชิงรูปภาพ (Graphic Programming) ซึ่งเป็นภาษาระดับสูงอย่างหนึ่ง



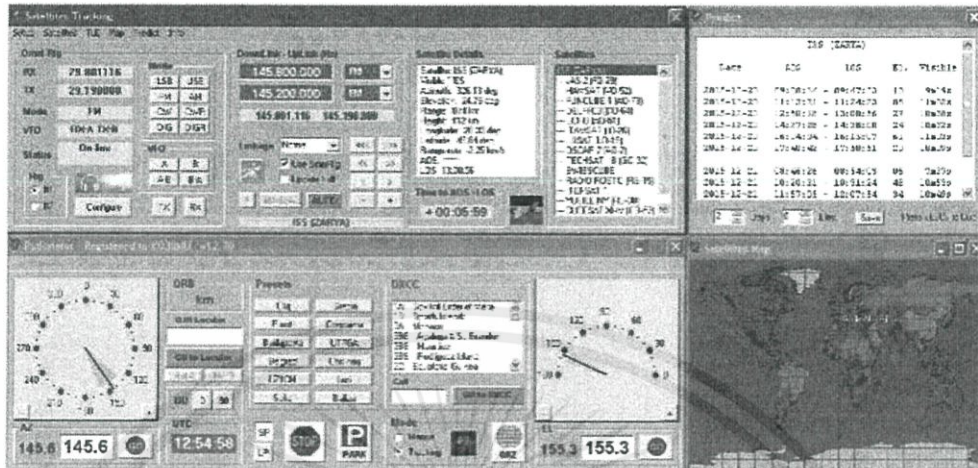
รูปที่ 2.11 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW

2.3.2.2 ส่วนการติดตามดาวเทียม

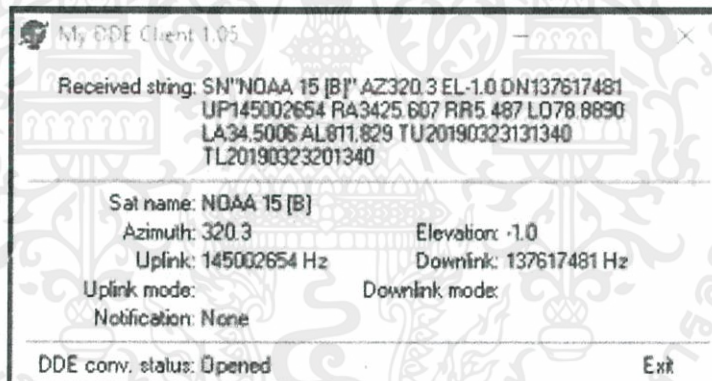
สำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการติดตามดาวเทียมนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนตามการใช้งาน ส่วนแรก คือ โปรแกรมที่ใช้ในการติดตามดาวเทียม ซึ่งเราใช้โปรแกรม Orbitron โดยโปรแกรมจะแสดงตำแหน่งของดาวเทียมที่เราติดตามในช่วงเวลาที่เราสงใจ ดังรูปที่ 2.12 และส่วนที่สอง คือ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม Rotator ที่ใช้ในการติดตามดาวเทียม โดยเราเลือกใช้โปรแกรม PstRotator เป็นโปรแกรมที่ติดตั้งในสถานีภาคพื้นดิน ดังรูปที่ 2.13 และ MyDDE เป็นโปรแกรมที่ส่งค่าจากโปรแกรม Orbitron เข้าสู่โปรแกรม PstRotator ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.12 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม Orbitron



รูปที่ 2.13 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม PstRotator



รูปที่ 2.14 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม MyDDE

2.3.2.3 ส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบการสื่อสารของดาวเทียม

ในการตรวจสอบระบบการสื่อสารระหว่างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทและสถานีภาคพื้นดิน นั้นจะใช้โปรแกรม SDRSharp เพื่อตรวจสอบสเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลที่รับส่งระหว่างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทและสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งทำได้โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบุช่วงความถี่ที่เราต้องการตรวจสอบในโปรแกรม ซึ่งโปรแกรม SDRSharp จะรับสเปกตรัมได้โดยใช้สายอากาศเชื่อมต่อกับ Dongle ซึ่งคือตัวแปลง Port จากสายอากาศเข้าสู่ Serial Port ดังรูปที่ 2.15 และมีหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ 2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การออกแบบชุดควบคุม Rotator ของสายอากาศเพื่อติดตามดาวเทียม

จากระบบการติดตามที่ใช้ในการติดตามแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทที่ผ่านมา (EM-1 และ EM-2) นั้นจะเป็นการใช้โปรแกรมติดตามร่วมกับการใช้คนในการถือสายอากาศเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ได้รับจากโปรแกรม แต่ในการติดตามแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทในปริภูมิจานี้ จะมีการติดตั้งชุด Rotator เพิ่มเติมเข้ากับสายอากาศในสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่เพื่อให้สามารถควบคุมสายอากาศในการติดตามแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทได้โดยไม่ต้องอาศัยคนทำหน้าที่ถือสายอากาศ

2.3.3.1 Yaesu รุ่น G-5500

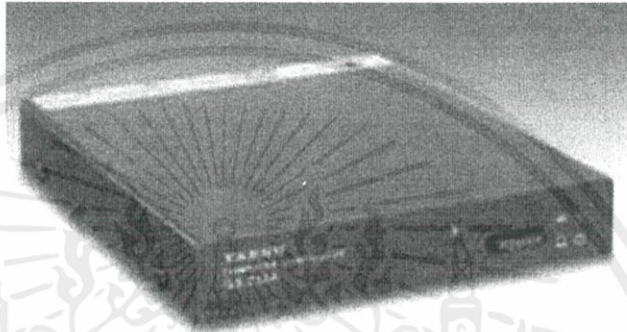
Yaesu รุ่น G-5500 คือ Rotator ที่ใช้เชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศ ซึ่งสามารถปรับได้ทั้งในแนว Azimuth และ Elevation โดยในแนว Azimuth สามารถปรับได้ 360° และในแนว Elevation สามารถปรับได้ 180° ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Yaesu รุ่น G-5500

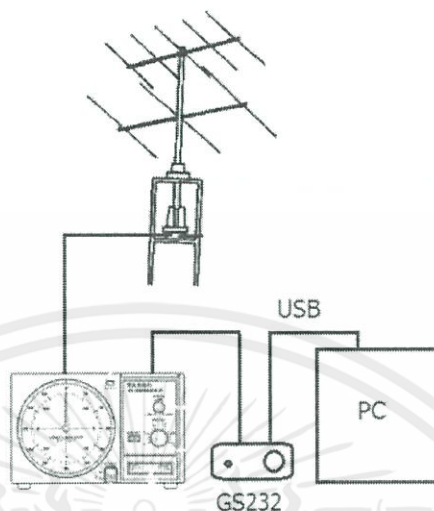
2.3.3.2 GS-232

GS-232 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่าง Rotator กับคอมพิวเตอร์ เพื่อปรับและควบคุม การหมุนของ Rotator ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ชุด GS-232

จากชุด Rotator ที่ใช้เป็น Yaesu รุ่น G-5500 ซึ่งมี Port external control เป็น Port 8 pin ควบคุม และมีอุปกรณ์ GS-232 ต่อจาก Port external ของ G-5500 เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ด้วยสาย Serial port RS-232C และใช้โปรแกรม Pstrotator จากคอมพิวเตอร์เป็นโปรแกรมการ ควบคุมการปรับการหมุนและควบคุมการติดตามดาวเทียม ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ภาพรวมของชุดควบคุม Rotator

2.4 การคำนวณ Link budget

ในการออกแบบระบบสื่อสารระหว่างบอร์ดสื่อสารของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทและสถานีภาคพื้นดิน จำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่า Link budget เพื่อที่จะได้ทราบว่าต้องใช้กำลังเท่าใดในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งค่า Link budget จะหาได้ตามสมการที่ 2.1

$$\text{Received Power (dB)} = \text{Transmitted Power (dB)} + \text{Gains (dB)} - \text{Losses (dB)} \quad (2.1)$$

2.4.1 การคำนวณ Losses

ทุกๆการสื่อสารในโทรคมนาคมนั้นย่อมต้องเกิด Loss ขึ้นมาในการสื่อสาร ในการสื่อสารระหว่างบอร์ดสื่อสารของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทและสถานีภาคพื้นดินก็มี Loss เกิดขึ้นมาเช่นกัน ซึ่ง Loss ที่เกิดขึ้นมานั้น คือ Free-space path loss

2.4.1.1 Free-space path loss

Free-space path loss (FSPL) คือ การลดทอนของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง โดย free-space path loss นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{FSPL (dB)} = 20\log(d) + 20\log(f) + 32.45 \quad (2.2)$$

โดยที่ f = ความถี่ (MHz)

d = ระยะทางระหว่างเสาอากาศ (km)

2.5 การมอดูเลชันในระบบสื่อสาร

ในการสื่อสารในย่านความถี่ VHF เป็นการมอดูเลชันแบบ AFSK1200 modulation ส่วนในย่านความถี่ UHF เป็นการมอดูเลชันแบบ LoRa modulation

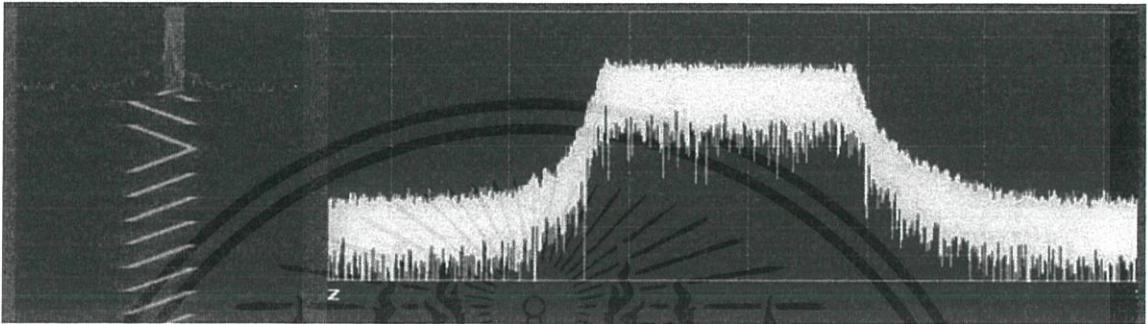
2.5.1 TNC Modem

เป็น Modem ที่ใช้ Modulation ข้อมูลที่เป็นบิตให้เป็นสัญญาณ AFSK 1200 โดย TNC modem ที่ได้นำมาใช้งาน เป็นการนำ ATmega328p ทำงานให้เป็น TNC modem ด้วยการใช้โปรแกรม แทนการใช้งาน TNC modem จริง ซึ่งการทดลองใช้คลื่นพาหะในคลื่นเสียง ใช้ Baud rate 1200 จึงเรียกว่า AFSK1200 modulation

2.5.2 LoRa modulation

LoRa มาจากคำว่า Long Range ซึ่งก็มาจากความต้องการสื่อสารไร้สายที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างไกลโดยใช้พลังงานต่ำ ลักษณะเฉพาะของ LoRa คือ การมอดูเลตด้วยเทคนิค chirp spread spectrum modulation (Chirp Spread Spectrum Modulation) และมีแบนวิดท์ที่ใช้ในช่องสัญญาณเป็น 125 kHz ดังรูปที่ 2.20 [5] ซึ่ง LoRa modulation มีวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการรับสัญญาณให้มีค่าความไวที่ดีขึ้นกว่ากระบวนการมอดูเลตชนิดอื่นๆ โดยความแตกต่างของความถี่ระหว่างตัวรับและตัวส่งของสัญญาณ โดยค่าความไวของการรับจากการมอดูเลตชนิดนี้สามารถทำให้รับได้ที่ระดับสัญญาณต่ำ

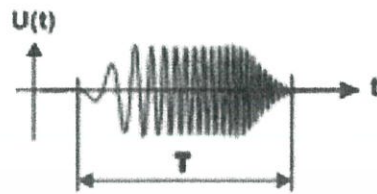
กว่า -140 dBm ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับการมอดูเลตชนิดอื่นๆที่ใช้อยู่ในชิปและไวไฟที่อยู่ในระดับ -100 dBm ถึง -110 dBm



รูปที่ 2.20 สัญญาณเชิรปความชันคงที่ (Constant Ramp Chirp Signal) และสเปกตรัม ของสัญญาณที่ทำ LoRa modulation

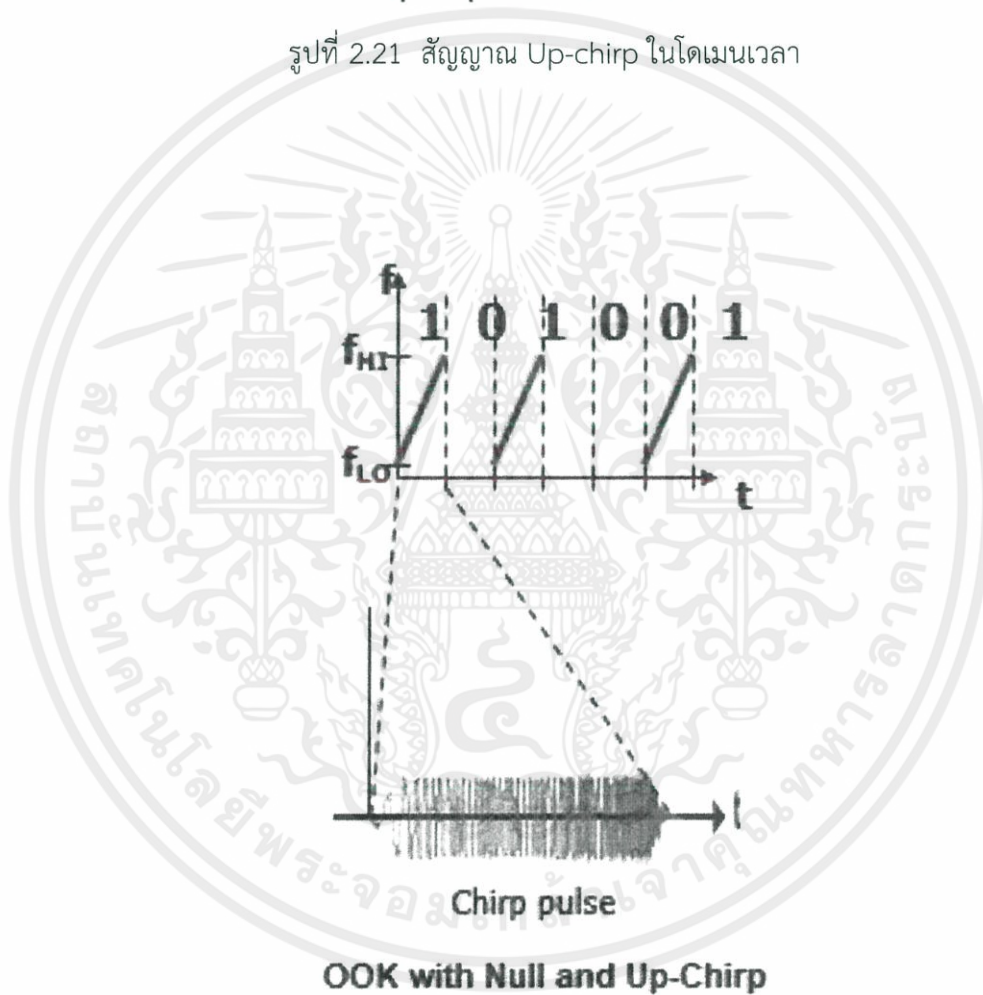
2.5.2.1 Chirp Spread Spectrum (CSS)

CSS Modulation จะใช้สัญญาณชิปความชันคงที่ที่เรียกว่า Up-Chirp ดังรูปที่ 2.21 [5] และ Down-Chirp ซึ่งจะใช้แทนบิตข้อมูล คือ บิต '1' จะใช้ Up-Chirp และ Down-Chirp ส่วนบิต '0' จะไม่ใช่ chirp (Null) ในการแทนบิตข้อมูล เรียกว่า On-Off-Keying (OOK) ดังรูปที่ 2.22 [5]



Up-Chirp in the time domain

รูปที่ 2.21 สัญญาณ Up-chirp ในโดเมนเวลา



OOK with Null and Up-Chirp

รูปที่ 2.22 การใช้เทคนิค On-Off-Keying (OOK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระบบการสื่อสาร

ระบบการสื่อสารในแบบจำลองดาวเทียมควิเบคแซท EM-3 นั้น ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารระหว่างตัวของแบบจำลองดาวเทียมควิเบคแซทและสถานีภาคพื้นดิน หรือการสื่อสารระหว่างระบบภายในต่างๆของตัวแบบจำลองดาวเทียมควิเบคแซท จำเป็นจะต้องมีระบบการตรวจสอบเพื่อให้รู้ว่ระบบการสื่อสารนั้นสามารถทำงานได้และข้อมูลที่รับได้มีความถูกต้อง

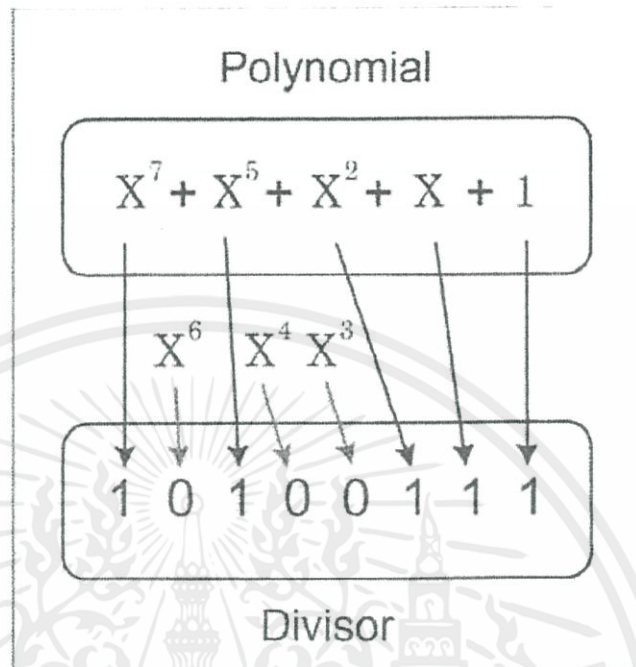
2.6.1 CRC-32 (Cyclic redundancy check-32)

Cyclic Redundancy Check (CRC) เป็นการตรวจจับข้อผิดพลาดที่ใช้กันทั่วไปในเครือข่ายดิจิทัลและอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยไม่ตั้งใจ โดยบล็อกของข้อมูลที่เข้าสู่ระบบเหล่านี้จะได้รับค่าการตรวจสอบสั้นๆตามส่วนที่เหลือของการหารพหุคูณของเนื้อหา ในการดึงข้อมูลการคำนวณซ้ำและในกรณีที่ค่าตรวจสอบไม่ตรงกันการดำเนินการแก้ไขสามารถนำมาใช้กับข้อมูลเสียหายได้ CRC สามารถใช้สำหรับการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด

หลักการของ CRC จะใช้รหัสโพลีโนเมียล ซึ่งมีข้อกำหนดว่าบิตซ้ายสุดและบิตขวาสุดต้องมีค่าเป็น 1 เสมออีกทั้งรหัสโพลีโนเมียลจะต้องมีจำนวนบิตน้อยกว่าจำนวนบิตของข้อมูลคณิตศาสตร์โพลีโนเมียล ดังรูปที่ 2.23 [4] จะเป็นลักษณะแบบมอดูโล ซึ่งจะไม่มีการใช้ Carry Bit ทั้งการบวกและการลบ หรือเป็นไปในลักษณะ Exclusive-OR นั้นเองโดยบิตที่นำมาบวกหรือลบกัน หากบิตตรงกันผลที่ได้จะเท่ากับ 0 ในขณะที่บิตต่างกัน ผลที่ได้ก็จะเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นไปในลักษณะดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ผลการปฏิบัติการด้วยโอเปอเรชั่น Exclusive-OR

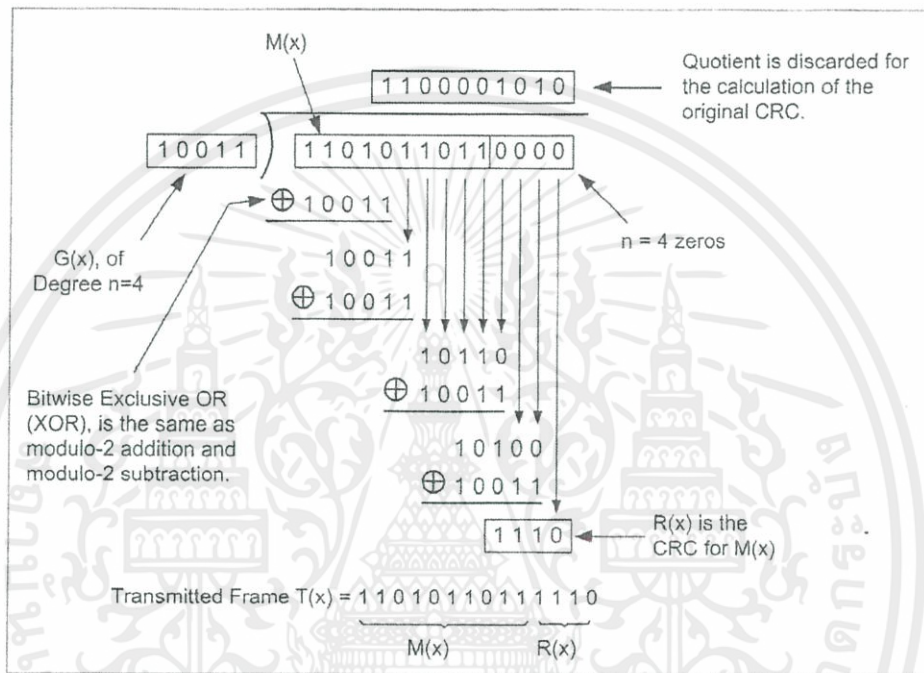
First Input	Second Input	XOR Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



รูปที่ 2.23 โพลีโนเมียลและการแทนค่าเป็นตัวหาร

วิธีการคำนวณหา CRC ดังรูปที่ 2.24 [4] จะนำสมการโพลีโนเมียลที่กำหนดขึ้นซึ่งก็คือ $G(X)$ ไปหารกับเฟรมข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งก็คือ $M(X)$ ที่ได้รวมบิตศูนย์ (n) เพิ่มเติมไว้แล้ว โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกทิ้งไป ให้พิจารณาเพียงเศษที่ได้จากการหาร ซึ่งก็คือ $R(X)$ หรือ Remainder เท่านั้น เฟรมข้อมูลที่ส่งไปยังปลายทางเรียกว่า $T(X)$ ที่เกิดจากการนำ $M(X)$ และเพิ่มต่อท้ายด้วยเฟรม $R(X)$ ที่เรียกว่า FCS (Frame Check Sequence) เมื่อสถานีต้นทางได้ส่งเฟรม $T(X)$ ผ่านชั้นสื่อสารดาต้าลิงก์ด้วยวิธีการตรวจจับข้อผิดพลาดแบบ CRC ไปยังสถานีปลายทางฝั่ง สถานีปลายทางก็จะใช้รหัสโพลีโนเมียลที่เป็นรหัสชนิดเดียวกันกับฝ่ายส่งนำไปตรวจสอบข้อผิดพลาดด้วยการคำนวณโดยการนำ $T(X)$ หารด้วย $G(X)$ และจะพิจารณาจากเศษที่ได้จากการหาร หากเศษที่ได้มีค่าเป็นศูนย์นั้นหมายถึงข้อมูลที่ได้รับนั้นถูกต้อง โดยมาตรฐาน

โพลีโนเมียลสากลที่นำมาใช้งานจริงและสามารถรับประกันข้อผิดพลาดได้เป็นอย่างดีนั้น จะแสดงดังรูปที่ 2.25 [4]



รูปที่ 2.24 วิธีการคำนวณ CRC

Name	Polynomial	Application
CRC-8	X^8+X^2+X+1	ATM Header
CRC-10	$X^{10}+X^9+X^5+X^4+X^2+1$	ATM AAL
CRC-16	$X^{16}+X^{12}+X^5+1$	HDLC
CRC-32	$X^{32}+X^{26}+X^{23}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^8+X^7+X^5+X^4+X^2+X+1$	LANs

รูปที่ 2.25 มาตรฐานของโพลีโนเมียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การติดตามดาวเทียม NOAA

ในการติดตามแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท เราได้ทำการทดสอบระบบติดตามดาวเทียม โดยการใช้ซอฟต์แวร์ติดตามดาวเทียม NOAA เพื่อเป็นการจำลองการติดตามแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท

2.7.1 ดาวเทียม NOAA

NOAA เป็นชื่อที่ใช้เรียกดาวเทียมขององค์กร NOAA ของสหรัฐ (ชื่อดาวเทียมคือ Advanced Television Infrared Observation Satellite ย่อเป็น TIROS-N หรือ ATN) ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจอุตุนิยมวิทยา ที่มีวงโคจรในแนวเหนือใต้ ดาวเทียมในชุดนี้จะทำงานพร้อมกัน 2 ดวง เพื่อให้ได้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในบริเวณต่างๆ ทุก 6 hrs ดวงหนึ่งจะตัดแนวเส้นศูนย์สูตรจากเหนือลงใต้เวลา 7.30 น. (เรียก Morning orbit มีระดับวงโคจรที่ 830 km) อีกดวงจะตัดแนวเส้นศูนย์สูตรจากเหนือลงใต้เวลา 13.40 น. (เรียก Afternoon orbit มีระดับวงโคจรที่ 870 km) ซึ่งเราสามารถตรวจสอบการติดตามดาวเทียม NOAA โดยการเปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณตามที่เราได้รับกับตารางความถี่ของดาวเทียม NOAA ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ความถี่วิทยุของดาวเทียม

ชื่อดาวเทียม	โหมด APT	โหมด HRPT
NOAA-17	137.50 MHZ	1707.0 MHZ
NOAA-16	OFF	1698.0 MHZ
NOAA-15	137.62 MHZ	1702.5 MHZ
NOAA-14	OFF	1707.0 MHZ
NOAA-12	137.50 MHZ	1698.0 MHZ

2.8 Deployment ของสายอากาศ

ในการปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทขึ้นสู่อวกาศนั้นต้องมีขนาด 1U (10 cm × 10 cm × 10 cm) ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งความยาวของสายอากาศจะเกินมาตรฐานกำหนด จึงทำให้ต้องมีการพับเก็บสายอากาศไว้ก่อนแล้วจึงค่อย Deploy ออกเมื่อแบบจำลองคิวบ์แซทถึงระดับความสูงที่ต้องการ

2.8.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการ Deploy สายอากาศ

2.8.1.1 TIP120

นำ TIP120 มาใช้เป็นสวิตช์คอนโทรลควบคุมระบบวงจร Deployment ของสายอากาศ ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 TIP120

2.8.1.2 ลวดนิโครม

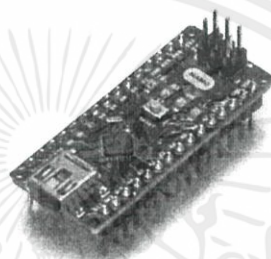
นำลวดนิโครมมาใช้เป็นตัวนำความร้อน เพื่อตัดเชือกที่มัดไว้กับสายอากาศ ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ลวดนิโครม

2.8.1.3 Arduino Nano

Arduino Nano เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ที่ใช้ชิปประมวลผลกลางคือ ATmega328 โดยมีดิจิทัลอินพุต 14 pin ซึ่งสามารถใช้เป็น PWM เอาต์พุต ได้ 6 pin และอนาล็อกอินพุต 8 pin รวมทั้งมีขนาดเล็กเพียง 18 mm x 45 mm และมีน้ำหนักเพียง 5 g ดังรูปที่ 2.28 [13] มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.12



รูปที่ 2.28 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano

ตารางที่ 2.12 คุณลักษณะของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano

ชื่อ	รายละเอียด
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แรงดันไฟฟ้าทำงาน	5 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าเข้า	7 ถึง 12 โวลต์
ขาดิจิทัลอินพุตและเอาต์พุต	14 ขา (สามารถใช้เป็น PWM เอาต์พุต ได้ 6 ขา)
ขานาล็อกอินพุต	8 ขา
Flash Memory	32 กิโลบิต
SRAM	2 กิโลบิต
E2PROM	1 กิโลบิต
Clock speed	16 เมกกะเฮิร์ตซ์

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท ตั้งแต่แบบจำลอง EM-1, EM-2 และ EM-3 ในส่วนของการสื่อสาร รวมถึงการออกแบบสถานีภาคพื้นดินโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท

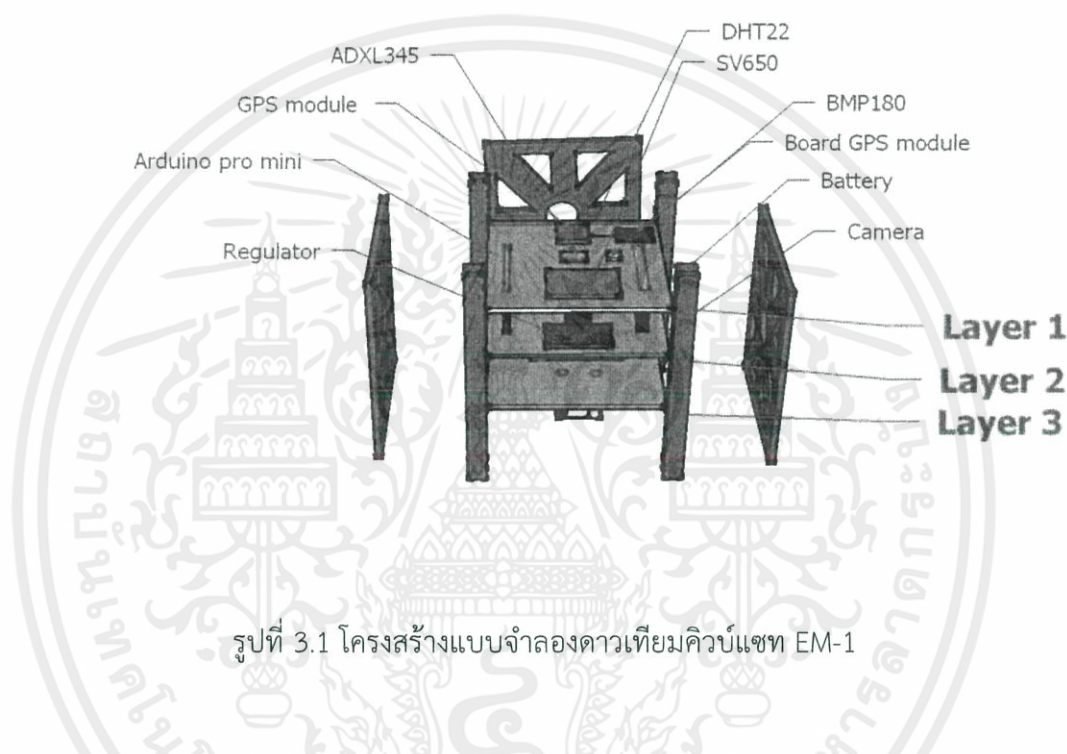
เนื่องจากแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทมีภารกิจที่ต้องปฏิบัติการจริงในช่วงความสูงไต่ระดับตั้งแต่ 100 m ถึง 20 km เหนือพื้นดินโดยประมาณ ซึ่งที่ระดับความสูง 20 km นี้จะมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงอวกาศทั้งอุณหภูมิและความกดอากาศ ทำให้สามารถทดสอบระบบการสื่อสารระหว่างดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดินได้ใกล้เคียงในอวกาศจริง อีกทั้งแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทมีรูปแบบตาม Cubesat form factor 1U ซึ่งขนาดของบอร์ด PCB ในแต่ละ Layer จะต้องไม่เกิน 10 cm x 10 cm รวมถึงความสูงรวมของทุก Layer ต้องไม่เกิน 10 cm ด้วยเช่นกัน จึงเป็นการกำหนดลักษณะของแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทส่วนการสื่อสารว่าต้องสามารถสื่อสารไยระยะ 20 km ขึ้นไป และรูปแบบ PCB ของส่วนการสื่อสารต้องไม่เกินตามมาตรฐานของ Cubesat form factor 1U และมีคุณลักษณะดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะที่ต้องการของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท

คุณลักษณะ	ค่าที่กำหนด
อุณหภูมิการทำงาน	-60 ถึง 80 °C
ระยะเวลาการทำงาน	5 ชั่วโมง
น้ำหนัก	น้อยกว่า 500 g
ระยะทางการสื่อสาร	มากกว่า 20 km
CubeSat form factor	1U (10 x 10 x 10 cm)

3.1.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1

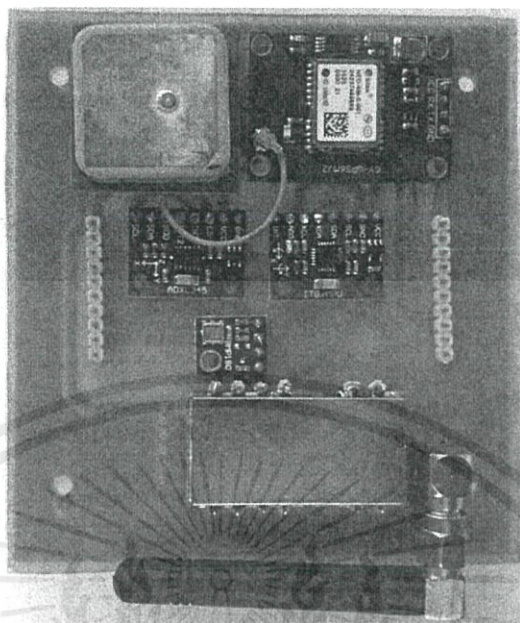
แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 ที่ได้ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วย 3 Layer โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



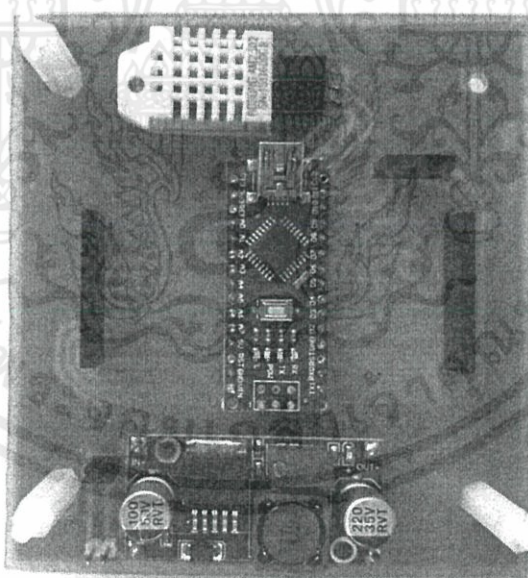
รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1

จากรูปที่ 3.1 Layer 1 คือ ส่วนสื่อสาร และเซนเซอร์, Layer 2 คือ ส่วนประมวลผล และจัดการข้อมูล และ Layer 3 คือ ส่วนแบตเตอรี่ และกล้องถ่ายภาพ

แบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ถูกสร้างขึ้นในปีการศึกษา ที่ 1/2559 และได้ทำการทดสอบการปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทขึ้นสู่อวกาศโลก ในวันศุกร์ที่ 2 ธันวาคม 2559 และได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาหลังจากการทดสอบปล่อยครั้งที่ 1 ซึ่งพบปัญหาในด้านการสื่อสารว่า สายอากาศมีขนาดเล็กกว่า $1/4$ ของความยาวคลื่น ทำให้มีอัตราขยายต่ำ (2.15 dB)



รูปที่ 3.2 วงจรของส่วนอุปกรณ์เซนเซอร์และสื่อสารของ EM-1 (Layer 1)

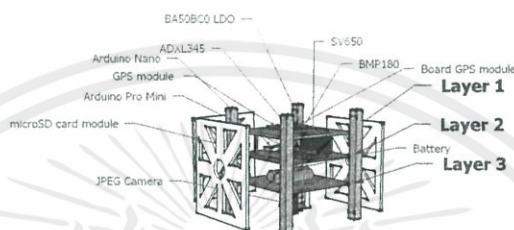


รูปที่ 3.3 วงจรของส่วนประมวลผลของ EM-1 (Layer 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

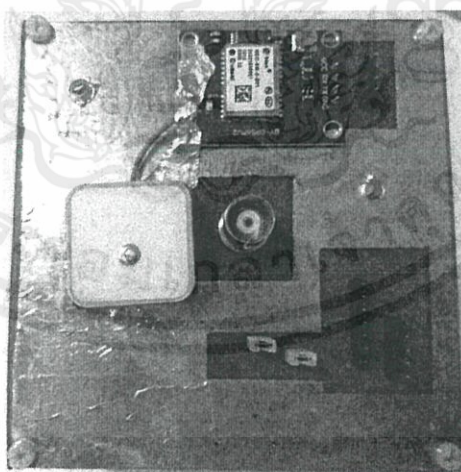
3.1.2 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2

แบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2 โดยแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2 ที่ได้ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วย 3 Layer ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.8



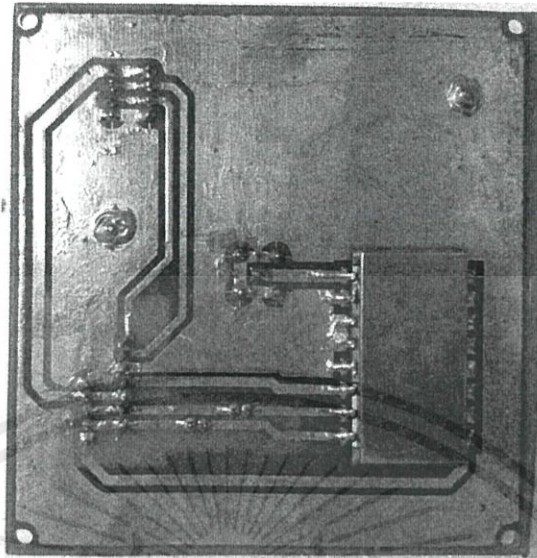
รูปที่ 3.4 โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2

จากรูปที่ 3.4 Layer 1 คือ ส่วนสื่อสาร, Layer 2 คือ ส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูล และ Layer 3 คือ ส่วนแบตเตอรี่ เซนเซอร์ และกล้องถ่ายภาพ

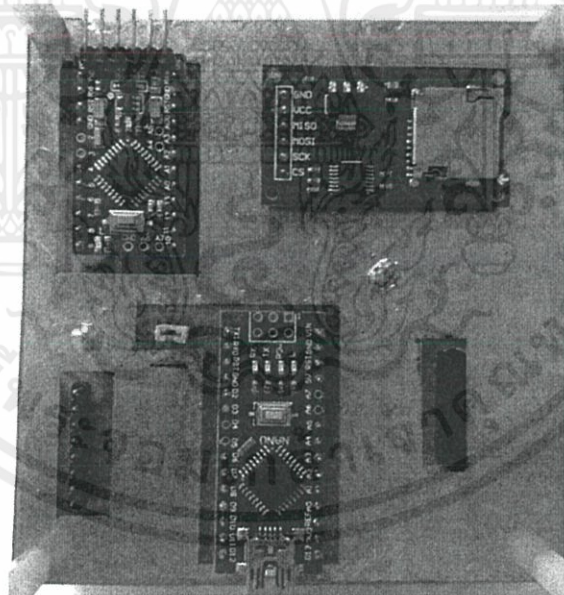


รูปที่ 3.5 ลายวงจรส่วนสื่อสารของ EM-2 (Layer 1 ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

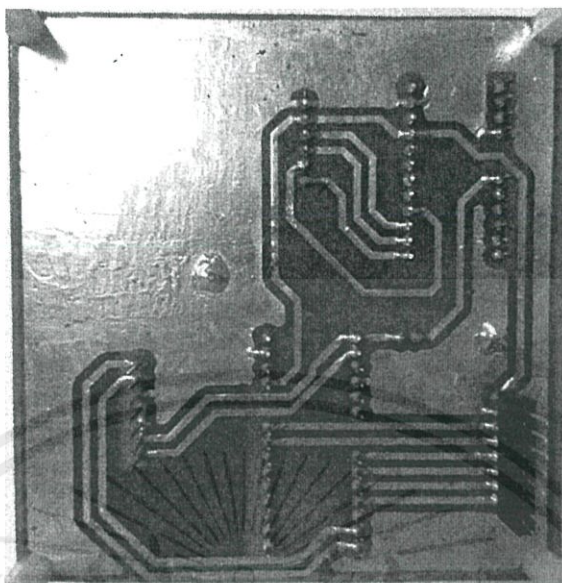


รูปที่ 3.6 ลายวงจรส่วนสื่อสารของ EM-2 (Layer 1 ด้านล่าง)



รูปที่ 3.7 ลายวงจรส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูลของ EM-2 (Layer 2 ด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

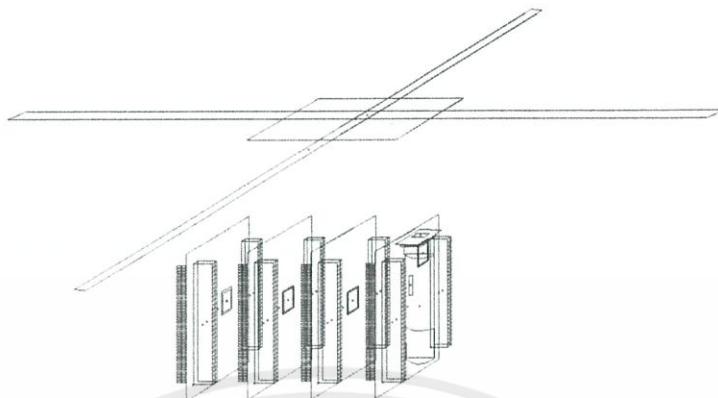


รูปที่ 3.8 ลายวงจรส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูลของ EM-2 (Layer 2 ด้านล่าง)

แบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2 ถูกสร้างขึ้นและทำการทดลองในระหว่างปีการศึกษาที่ 2/2559 และได้ทำการทดสอบการปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทขึ้นสู่อวกาศโลก ในวันพฤหัสบดี ที่ 30 มีนาคม 2560 จากการทดลองการติดต่อสื่อสารกับแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2 ในชั้นบรรยากาศ พบว่าการติดต่อสื่อสารกับแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-2 ได้ช่วงก่อนบอลลูนแตก เป็นระยะทาง 100.07 km

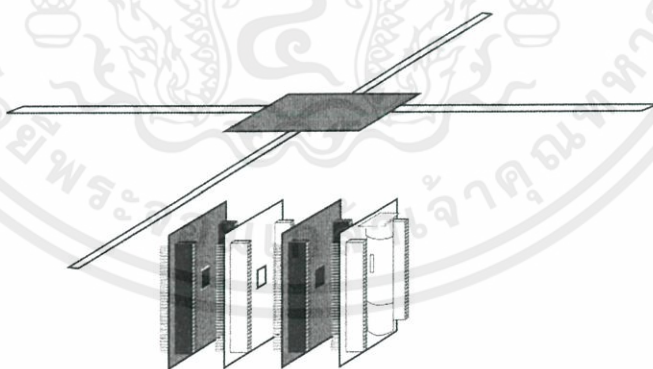
3.1.3 การออกแบบตัวแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

ในการออกแบบตัวแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ที่ได้ ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วย 4 ชั้น ที่มีรูปแบบการเรียงที่แตกต่างจากแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 และ EM-2



รูปที่ 3.9 โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวิบแซท EM-3

จากรูปที่ 3.9 สังเกตว่าการจัดเรียง Layer ในแต่ละ Layer นั้นได้เปลี่ยนจากการวางซ้อนกันในแนวระนาบ เป็นการเรียงขนานกันในแนวตั้งและมี Layer ในส่วนของสายอากาศวางอยู่ด้านบนสุดของโครงสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมศาสตร์คิวิบแซท EM-3 ดังรูปที่ 3.10 โดยมีลำดับการจัดวางจาก Layer ด้านซ้าย ถึง Layer ด้านขวา เป็น Layer ส่วนของโมดูลการสื่อสาร, Layer ส่วนของระบบ EPS, Layer ส่วนของประมวลผลและจัดการข้อมูล และ Layer ส่วนของกล้องถ่ายภาพ



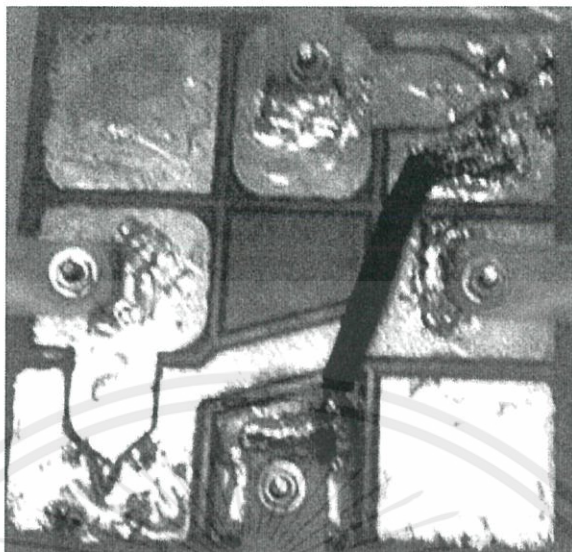
รูปที่ 3.10 โครงสร้างแบบจำลองดาวเทียมคิวิบแซท EM-3 ที่เป็น Layer ส่วนสายอากาศ Layer ส่วนโมดูลสื่อสาร และ Layer ส่วนการประมวลผลและจัดการข้อมูล

3.1.3.1 การออกแบบลายวงจรใน Layer ของสายอากาศ

ในแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ได้ออกแบบให้มีการสื่อสารรูปแบบ full-duplex ซึ่งจะเป็นการสื่อสารในย่านความถี่ 2 ย่านด้วยกัน คือ ย่านความถี่ VHF ช่วงความถี่ 143-146 MHz และย่านความถี่ UHF ช่วงความถี่ 430-440 MHz ดังนั้น Layer สายอากาศ จะถูกแยกออกมาจากตัวโครงสร้างของแบบจำลองคิวบ์แซท แต่ก็ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของ CubeSat form factor 1U ผู้จัดทำจึงเลือกสายอากาศประเภทไดโพลและใช้วัสดุในการทำเป็นอะลูมิเนียมแบบบางที่สามารถพับได้ เพราะเมื่อเวลาที่ยังไม่ต้องการใช้งานสายอากาศ ก็จะสามารถพับสายอากาศอยู่ในรูปแบบ CubeSat form factor 1U ต่อมาเมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้งานสายอากาศ สายอากาศก็สามารถคืนสภาพ เป็นสายอากาศไดโพลที่มีผลตอบสนองต่อความถี่ในย่านที่ต้องการได้

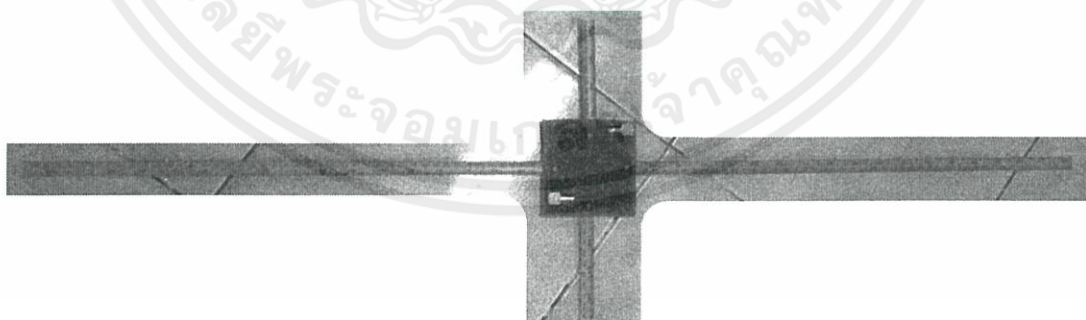


รูปที่ 3.11 ลายวงจรส่วนสายอากาศของ EM-3 (ด้านหน้า)



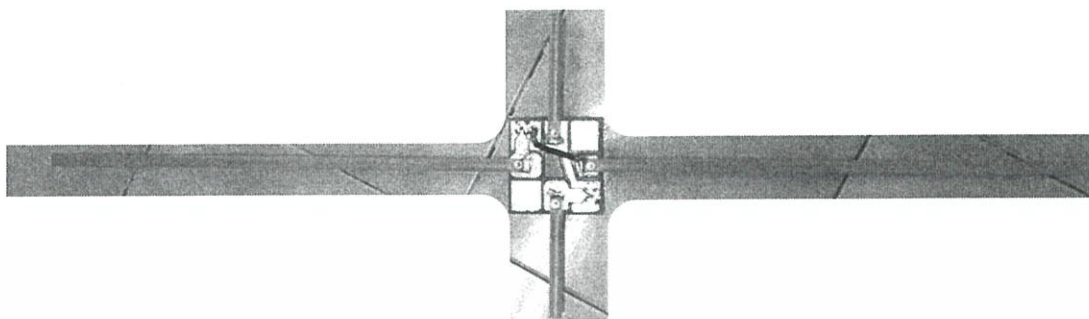
รูปที่ 3.12 ลายวงจรส่วนสายอากาศของ EM-3 (ด้านหลัง)

การออกแบบสายอากาศไดโพลที่มีย่านความถี่ VHF ช่วงความถี่ 143-146 MHz ใช้ อลูมิเนียมแบบบาง ที่มีความยาวรวมจากปลายถึงปลาย 98.5 cm มีช่องว่างระหว่าง Element เป็น ระยะ 5 cm ส่วนการออกแบบสายอากาศไดโพลที่มีย่านความถี่ VHF ช่วงความถี่ 430-440 MHz ใช้อลูมิเนียมแบบบาง ที่มีความยาวรวมจากปลายถึงปลาย 33.8 cm มีช่องว่างระหว่าง Element เป็นระยะ 3 cm



รูปที่ 3.13 Layer ของชั้นเสาอากาศของ EM-3 (ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

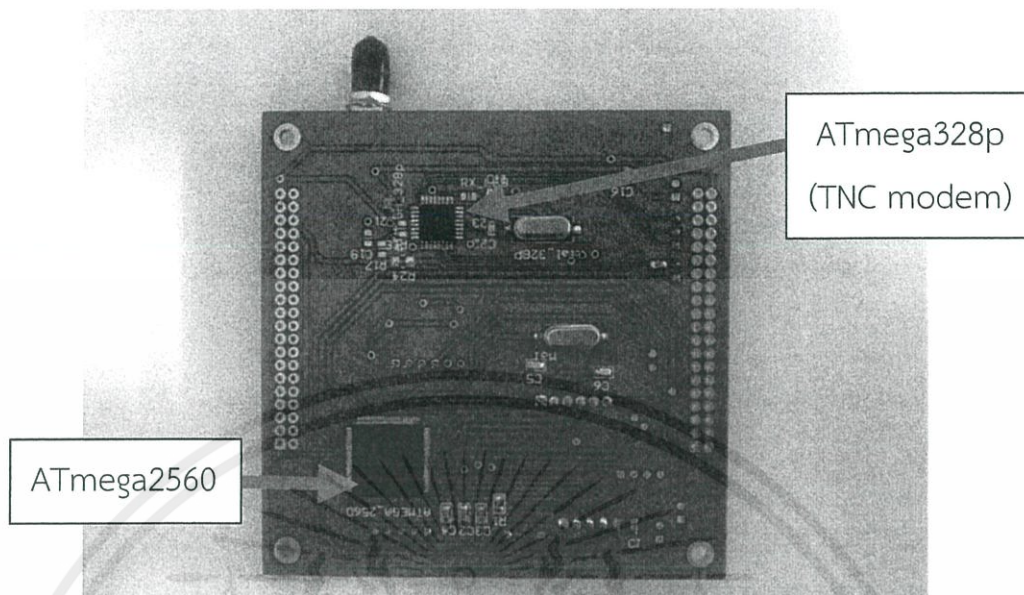


รูปที่ 3.14 Layer ของชั้นสายอากาศของ (EM-3 ด้านหลัง)

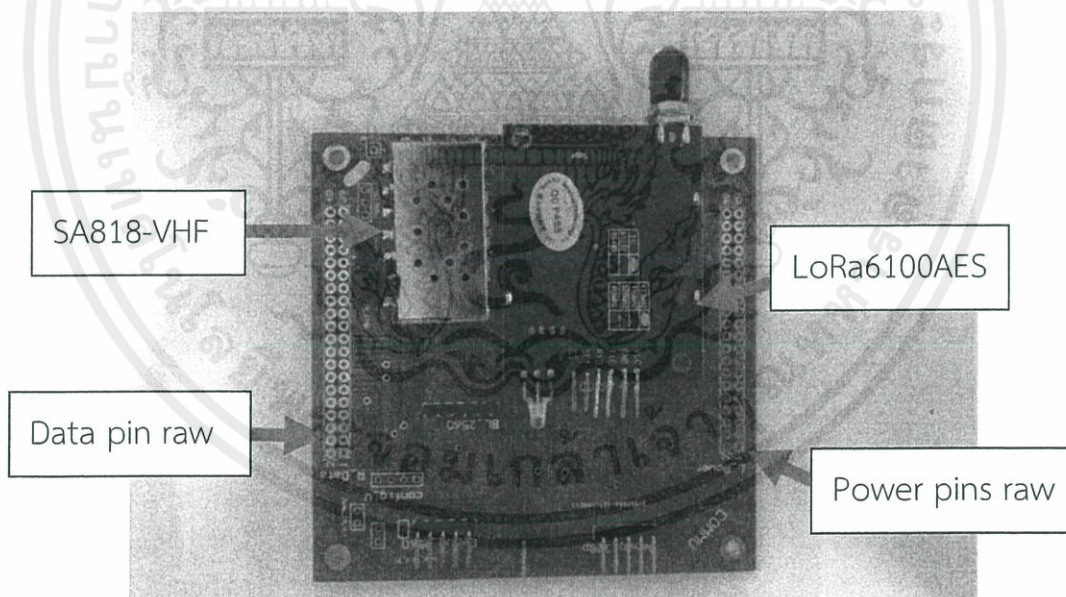
จากรูปที่ 3.11 และ 3.12 ลายวงจรในส่วนที่รับสัญญาณจากสายอากาศนั้นจะมีลายวงจรที่กว้าง และจะมีการทำช่องว่างขนานไปกับลายวงจรส่วนที่รับสัญญาณจากอากาศ ซึ่งช่องว่างจะกั้นระหว่างลายวงจรที่เป็น GND โดยจะทำแต่ละบริเวณเป็นมุมแหลม เพื่อกั้นสัญญาณไม่ให้สัญญาณที่มีกำลังสูงข้ามลายวงจร รูปที่ 3.13 และ 3.14 จะเห็นได้ว่าการจัดวางสายเสาอากาศไดโพลของทั้งสองไดโพล จะถูกจัดวางให้ทำมุมตั้งฉากกันเพื่อลดการรบกวนซึ่งกันและกันของสายอากาศ โดยใช้หลักการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพลที่จะไม่มีการแพร่สัญญาณที่ตำแหน่ง 90°

3.1.3.2 การออกแบบลายวงจรใน Layer ของส่วนโมดูลสื่อสาร

เนื่องจากแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 มีการสื่อสารในสองย่านความถี่ ในย่านความถี่ VHF ใช้โมดูล SA818-VHF ร่วมกับ TNC modem โดยการใช้ ATmega328p ดังรูปที่ 3.15 ส่วนในย่านความถี่ UHF ใช้โมดูล LoRa6100AES ดังรูปที่ 3.16 และโมดูลทั้งสองโมดูลเชื่อมต่อกับ Layer ในชั้นประมวลผลข้อมูล โดยการเชื่อมต่อรูปแบบ Serial UART



รูปที่ 3.15 Layer ของชั้นส่วนโมดูลสื่อสารของ EM-3 (ด้านบน)



รูปที่ 3.16 Layer ของชั้นส่วนโมดูลสื่อสารของ EM-3 (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.3 การกำหนดค่าการทำงานของโมดูลสื่อสาร

1. ในการกำหนดค่าการทำงานของโมดูล SA818-VHF จะทำการเชื่อมโมดูลกับอุปกรณ์ด้วย Serial UART baud rate 9600 ซึ่งการกำหนดค่าการทำงานของโมดูลสื่อสารจำเป็นต้องส่ง Packet เป็นการกำหนดค่า ดังนี้ ส่ง Packet “AT+DMOCONNECT” เป็นการเริ่มต้นกำหนด โมดูลจะทำการตอบรับด้วย Packet “+DMOCONNECT:0” และทำการกำหนดค่าด้วย Packet “AT+DMOSETGROUP=0,144.3900,144.3900,0000,8,0000” เป็นการกำหนดให้โมดูล SA818-VHF สื่อสารแบบ narrowband ที่ความถี่กลาง 144.39 MHz ไม่ใช้ Parity bits และส่งข้อมูลครั้ง 8 bits โมดูลจะทำการตอบรับด้วย Packet “+DMOSETGROUP:0” ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 Serial monitor แสดงการกำหนดค่าการทำงานของโมดูล SA818-VHF

2. ในการกำหนดค่าการทำงานของโมดูล LoRa6100AES โดยจะทำการเชื่อมต่อโมดูลกับอุปกรณ์ด้วย Serial UART เช่นเดียวกัน ซึ่งการกำหนดค่าการทำงานจะต้องทำการเชื่อมต่อกับขา DTR ของโมดูล โดยทำการ short วงจร ขา SET กับขา GND แล้วใช้โปรแกรม LORA_AES ในการแสดงหน้าต่างการกำหนดค่า ดังรูปที่ 3.18 ผู้จัดทำได้ทำการกำหนดค่าความถี่ 432.92 MHz อัตราการส่งข้อมูลในการส่งผ่านสายอากาศ 17353 bit/s และกำลังการส่งระดับ 7 (30 dBm) ดังรูปที่ 3.18

NiceRF 深圳市思为无线科技有限公司
思为无线 NiceRF Wireless Technology Co., Ltd
TEL:0755-23080616 www.nicerf.com

Model: LORA6100AES Version: 3.1

COM7
CLOSE

Net Parameters
NET ID: 00000000 NODE ID: 0000
AUTO ADD 1 SET

Serial Parameters
Baud Rate: 9600 Parity: None
Data bit: 8 Stop: 1 READ

RF Parameters
Band: 433 Channel: 19 Frequency: 432.92 MHz
Data Rate: 17353 Power: 7 DEFAULT

Encryption
 Default KEY
 Customize KEY KEY: 00000000000000000000000000000000

รูปที่ 3.18 การกำหนดค่าการทำงานของโมดูล LoRa6100AES

3.1.4 เปรียบเทียบการออกแบบส่วนการสื่อสารของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1, EM-2, และ EM-3

เมื่อนำส่วนการสื่อสารของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1, EM-2 และ EM-3 มาเปรียบเทียบกับกันทั้งหมด ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติส่วนการสื่อสารดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1, EM-2 และ EM-3

รายการ	EM-1	EM-2	EM-3
รูปแบบการรับ-ส่ง	Half-duplex	Half-duplex	Full-duplex
ย่านความถี่	UHF	UHF	VHF และ UHF
โมดูลสื่อสาร	SV650	SV650	SA818 และ LoRA6100AES
รูปแบบสายอากาศ	Omni antenna	Omni antenna	Dipole antenna
กำลังส่งสูงสุด	27 dBm	27 dBm	29.5 และ 30 dBm
ค่า Sensitivity	-121 dBm	-121 dBm	-124 และ -139 dBm

จากตารางที่ 3.2 พบว่าในแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 จะมีรูปแบบในการรับส่งข้อมูลที่หลากหลาย ค่ากำลังส่งสูงสุด และค่าความไว (Sensitivity) ที่เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความสามารถในการรับสัญญาณที่มีพลังงานต่ำ ดีกว่าแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 และ EM-2 จึงทำให้ความสามารถด้านการรับส่งข้อมูลแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 มากกว่าแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 และ EM-2 ซึ่งในแนวทางการแก้ไขปัญหา หรือแนวทางการพัฒนาส่วน

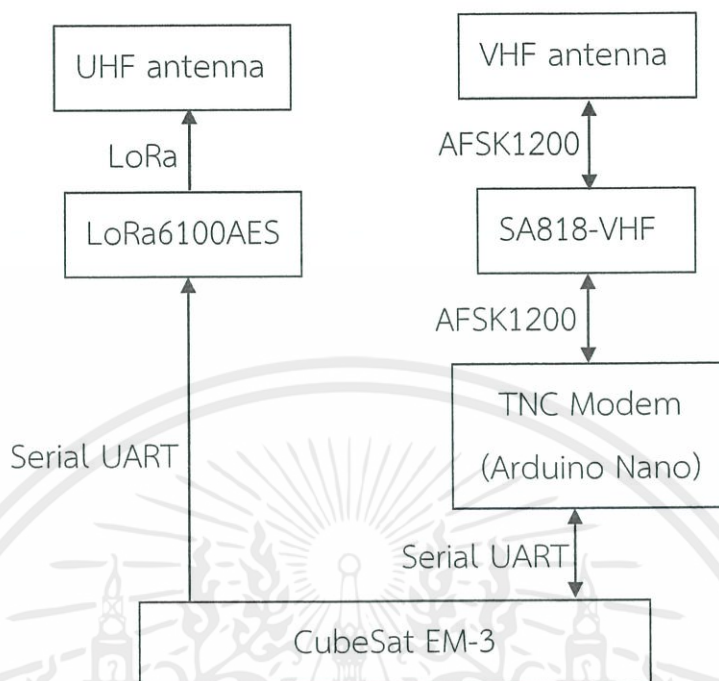
การสื่อสารแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท EM-3 นั้นมาจากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท EM-1 และ EM-2 ในช่วงต้น

3.1.5 การทำงานของดาวเทียมคิวบแซท EM-3 ในส่วนการสื่อสาร

การทำงานของแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 ในส่วนการสื่อสาร สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน โดยย่านความถี่ VHF มีหน้าที่รับข้อมูลจากสถานีภาคพื้นดินและส่งข้อมูล beacon ของแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 ส่วนย่านความถี่ UHF มีหน้าที่ส่งข้อมูล 3 ประเภท คือ ข้อมูลข้อความที่ผ่านการเข้ารหัสข้อมูล ข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องบน Layer ชั้นกล้องถ่ายภาพ และข้อมูลในรูปแบบ MIDI ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกจัดเก็บและประมวลผลบน Layer ชั้นการประมวลผล

3.1.5.1 การทำงานในส่วนการสื่อสารระหว่างดาวเทียมคิวบแซท EM-3 และสถานีภาคพื้นดิน

การสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลระหว่างแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 และสถานีภาคพื้นดินนั้น มีระยะการสื่อสารไร้สายอยู่ที่ 100 m ถึง 20 km ในการสื่อสารย่านความถี่ VHF จะส่งข้อมูลจากสถานีภาคพื้นดินของแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 จึงเลือกใช้การส่งข้อมูลด้วยหลักการของ AFSK1200 modulation ส่วนการสื่อสารย่านความถี่ UHF จะส่งข้อมูลจากแบบจำลองดาวเทียมทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 ไปยังสถานีภาคพื้นดิน เช่น ข้อมูลในรูปแบบ MIDI เป็นต้น จึงเลือกใช้การส่งข้อมูลด้วยหลักการของ LoRa modulation ดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.19



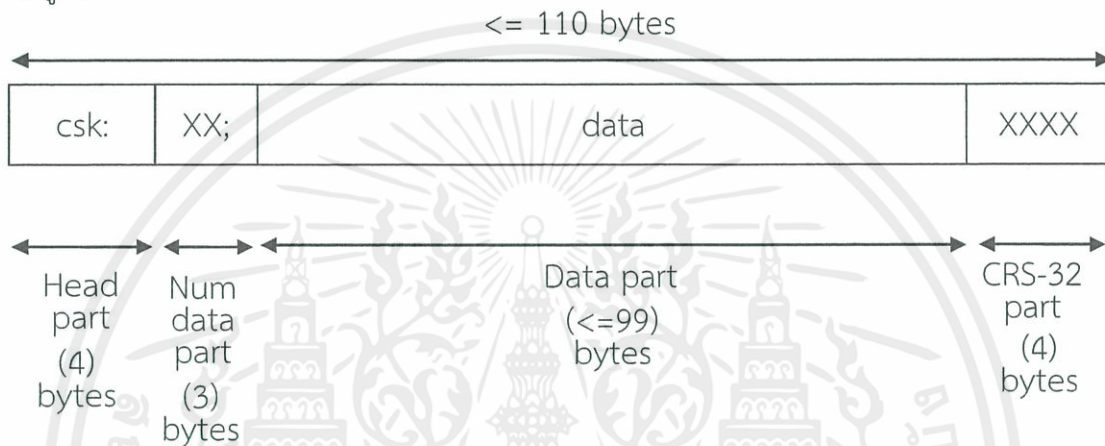
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของส่วนการสื่อสารในแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ระหว่างดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 และสถานีภาคพื้นดิน

3.1.5.2 หลักการทำงานของ การสื่อสารระหว่างส่วนการทำงานต่างๆภายใน ดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างส่วนการทำงานต่างๆภายในแบบจำลองดาวเทียมนั้น ออกแบบให้ทุกส่วนเชื่อมกันกับส่วนประมวลผลหลัก โดย Bus topology โดยให้ส่วนประมวลผลหลักเป็น Host ส่วนควบคุมต่างๆเป็น Slave เนื่องจากการใช้ Bus topology นั้น ทำให้จำเป็นต้อง กำหนดการใช้ Bus line ที่เหมาะสม จึงได้มีการทำการกำหนด pin เพื่อใช้กำหนดสถานะ Enable ให้ส่วนการควบคุม เพื่อไว้บอกสถานะว่า Host ต้องการที่จะต่อการสื่อสารกับ Slave ตัวนั้นๆ เป็นการป้องกันข้อมูลชนกันใน Bus line ซึ่งข้อมูลที่จะใช้รับ-ส่งใน Bus line นั้น มีข้อมูลอยู่ 2 ประเภท ข้อมูลประเภทแรกเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเช็คสถานะของส่วนควบคุมต่างๆ ว่าส่วนควบคุม นั้นๆยังสามารถทำงานได้ปกติ ข้อมูลประเภทที่สองเป็นข้อมูลทั่วไป เช่น ข้อมูลคำสั่ง เป็นต้น

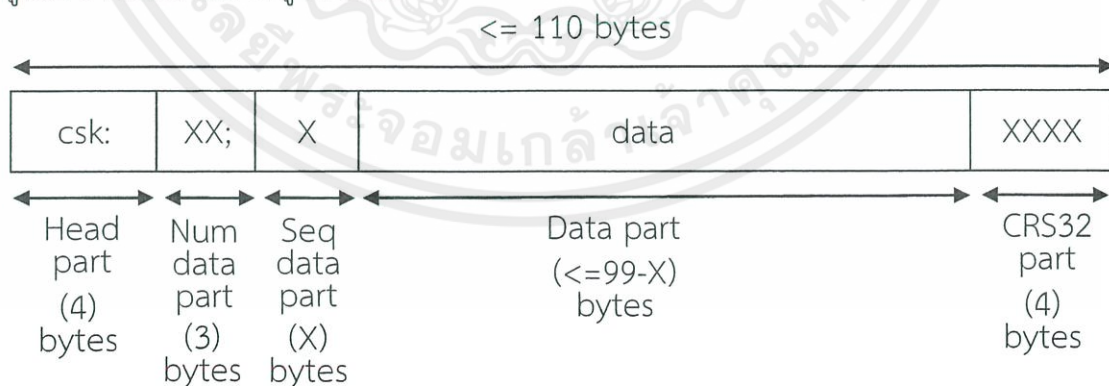
3.1.6 การออกแบบรูปแบบข้อมูล Packet ที่ใช้ในการสื่อสาร

ในการออกแบบการสื่อสาร จะมีรูปแบบ Packet ที่กำหนดไว้เพื่อให้สามารถตรวจความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ใช้เป็น CRC-32 จำนวน 4 bytes ต่อท้ายข้อมูล และมีการเพิ่ม Header ของข้อมูล ที่เป็น ASCII จำนวน 4 bytes (4 อักขระ) ดังนี้ 'c', 's', 'k' และ ':' ต่อมาตามด้วยจำนวน bytes ของข้อมูล จำนวน 2 bytes และอักขระกั้นส่วน Header กับ Data แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 รูปแบบ Packet ที่ใช้ในการสื่อสาร

ดาวเทียมคิวบแซท EM-3 มีการส่งข้อมูลบางประเภทที่ขนาดใหญ่กว่า 99 bytes ใน Data part จึงจำเป็นต้อง แบ่งข้อมูลขนาดใหญ่ นั้นเป็นส่วนๆ แล้ว นำมาจัด Packet ให้มีลำดับ Sequence แทรกไปใน Data part เพื่อเมื่อนำข้อมูลมารวมใหม่ได้อย่างถูกต้อง ตามลำดับ มีรูปแบบ Packet ใหม่ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 รูปแบบ Packet ที่ใช้ในการสื่อสารที่มี Sequence byte

จากรูปที่ 3.22 จะกำหนดให้ จำนวน Sequence byte อยู่หน้าส่วน Data part ถ้า จำนวน Sequence byte มีมากกว่า 1 byte จะทำการลด 1 byte จาก Data part มาใช้แทน เพราะขนาด Packet รวมต้องไม่มากกว่าเท่ากับ 110 bytes

3.1.7 การออกแบบรูปแบบข้อมูลในการส่งไฟล์ MIDI

ในการเตรียมข้อมูลประเภท MIDI ที่ใช้ส่งลงมายังสถานีภาคพื้นดิน โดยปกติแล้วข้อมูลประเภทนี้จะถูกจัดเก็บในรูปแบบ ASCII code แต่เมื่อนำ ASCII code บางตัวไปผ่านกระบวนการส่งข้อมูลแล้วรับที่สถานีภาคพื้นดิน ข้อมูลที่ได้รับจะมีความผิดพลาดมาก เนื่องจากข้อมูล ASCII บางตัวไม่สามารถประมวลผลได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงข้อมูลที่เป็น ASCII code ไปเป็นข้อมูลเลขฐาน 16 เมื่อถึงสถานีภาคพื้นดินแล้วจึงแปลงเป็นข้อมูล ASCII code ดังเดิม ดังรูปที่ 3.23

4d	54	68	64	00	00	00	06	00	00	00	01	00	60	4d	54	72	6b	00	00	21	6a	MThd.....`MTrk..!j
00	ff	03	0a	59	6f	20	48	6f	20	20	20	20	20	00	ff	58	04	04	02	18	08	. . .Yo Ho . X.....
00	ff	51	03	07	a1	20	00	c0	15	00	99	25	71	01	89	25	40	1f	c1	15	20	. Q..í .L...%q..%@.±.
c2	15	20	c3	15	00	99	25	6e	10	89	25	40	10	c4	15	20	c5	15	20	c6	15	τ. †...%n..%@.-. †. †.
00	99	25	6e	0e	89	25	40	12	c7	15	40	c8	15	00	ca	19	20	cb	72	40	90	..%n..%@. †.@±..±. †r@.
41	5a	00	90	3c	54	00	90	45	62	00	9a	29	5c	03	9b	39	76	2f	8a	29	40	AZ..<T..Eb..)\..9v/.)@
0e	9a	39	56	00	9a	3c	58	00	9a	41	43	09	80	3c	40	02	80	41	40	05	8a	..9V..<X..AC..<@..A@..
3c	40	00	80	45	40	02	8b	39	40	01	8a	39	40	02	8a	41	40	0b	90	45	67	<@..E@..9@..9@..A@..Eg
00	90	41	5d	00	90	48	5f	00	9a	29	47	04	9b	3c	73	2c	8a	29	40	10	9a	..A]..H_..)G..<s,..)@..
41	45	00	9a	3c	50	00	9a	39	55	09	80	48	40	00	80	41	40	00	80	45	40	AE..<P..9U..H@..A@..E@
06	8a	3c	40	00	8b	3c	40	01	8a	39	40	02	8a	41	40	0e	90	46	66	00	90	..<@..<@..9@..A@..Ff..
4a	5d	00	90	41	5f	00	9a	2e	67	00	9b	3e	6e	39	8a	2e	40	07	9a	35	46]j..A...g..>n9..@..5F

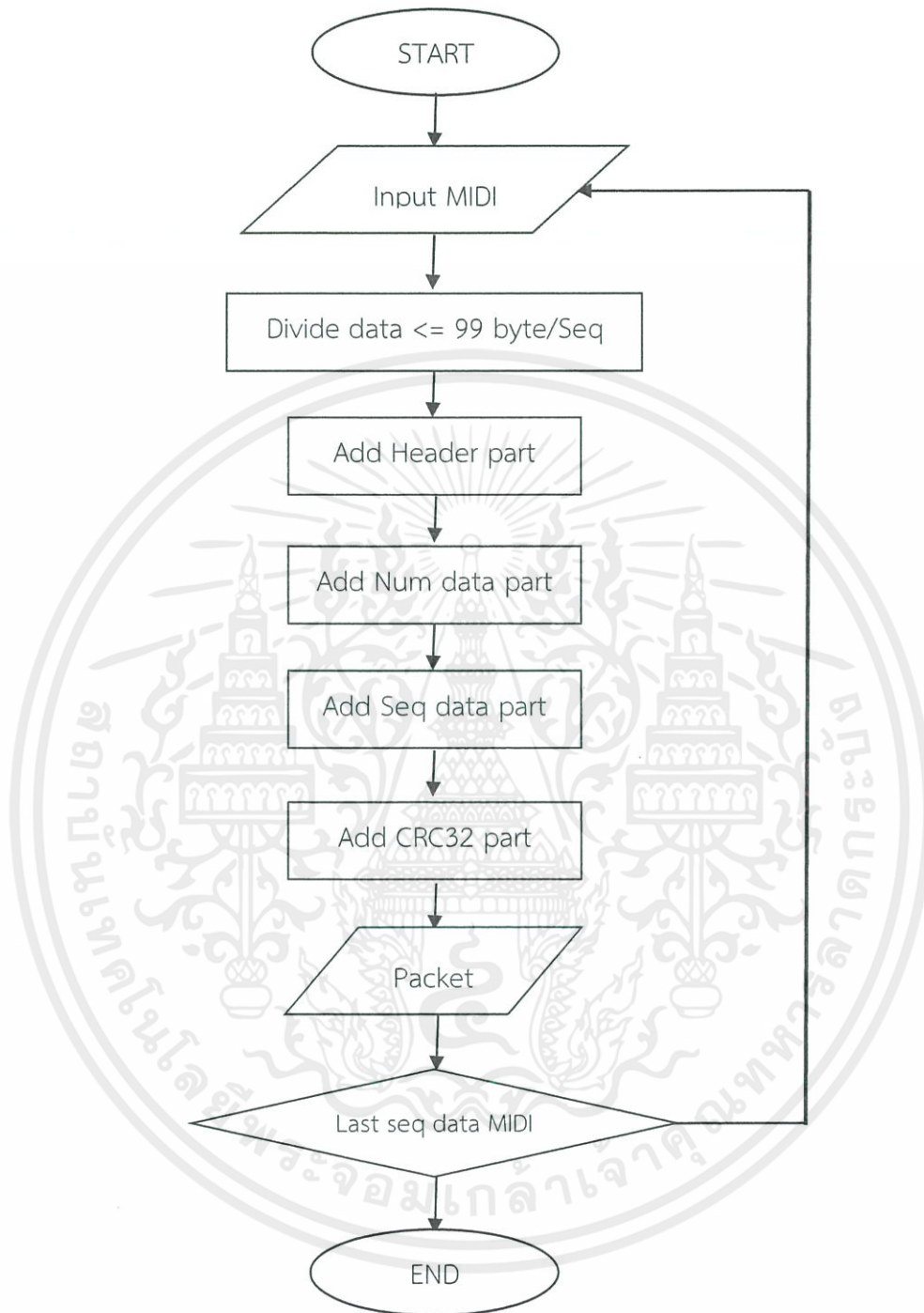
รูปที่ 3.23 ข้อมูลเลขฐาน 16 เทียบกับข้อมูล ASCII code เดิมของข้อมูลประเภท MIDI

ในการทดลองการส่งไฟล์ MIDI ทางผู้จัดทำได้จัดเตรียมไฟล์ MIDI ไว้ ขนาดที่แตกต่างกัน 7 เพลง ดังนี้ ไฟล์ที่ 1 มีขนาด 26 kB, 2 มีขนาด 33 kB, 3 มีขนาด 47 kB, 4 มีขนาด 62 kB, 5 มีขนาด 77 kB, 6 มีขนาด 101 kB ดังรูปที่ 3.24

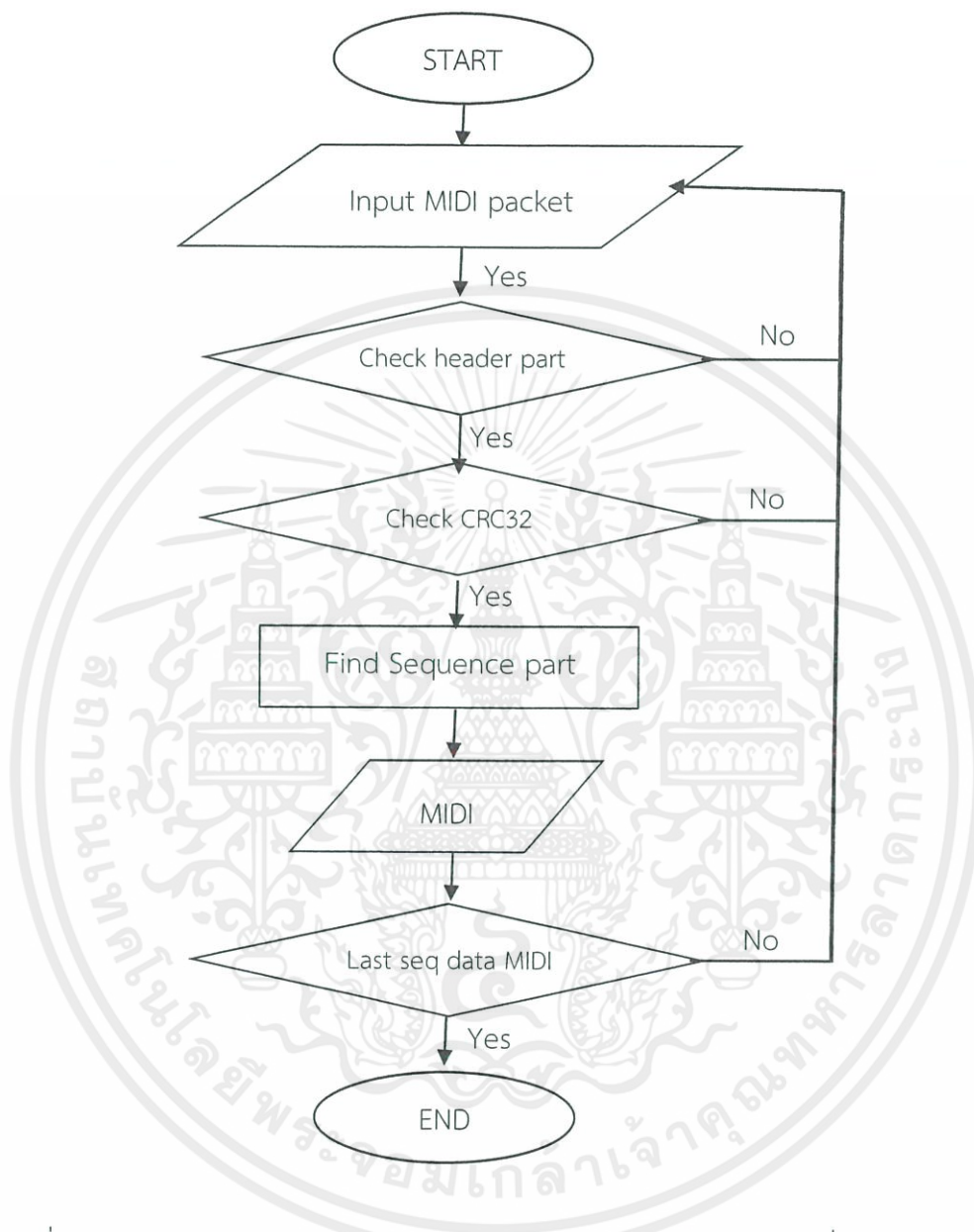
1.txt	11/29/2018 11:43 ...	Text Document	26 KB
2.txt	11/29/2018 11:44 ...	Text Document	33 KB
3.txt	11/29/2018 11:48 ...	Text Document	47 KB
4.txt	11/29/2018 11:49 ...	Text Document	62 KB
5.txt	11/29/2018 11:50 ...	Text Document	101 KB
6.txt	11/29/2018 11:50 ...	Text Document	101 KB
7.txt	11/29/2018 11:55 ...	Text Document	77 KB

รูปที่ 3.24 ข้อมูล ASCII code เป็นอักขระในรูปเลขฐาน 16 รูปแบบไฟล์ Text

ต่อมาจะทำการจัดข้อมูล MIDI ที่ในรูปแบบที่กล่าวไว้ในข้างต้น มาจัดอยู่ใน Packet ที่พร้อมทำการสื่อสาร ซึ่งมีวิธีการจัดตั้ง Flow chart ดังรูปที่ 3.25 ซึ่งจะเป็นการแบ่งข้อมูล และกำหนดลำดับของข้อมูลเป็นส่วน Sequence part ต่อมาก็จะเป็นการเพิ่มส่วน Header part และทำการหา CRC-32 ที่มีขนาด 4 bytes เป็นส่วนที่ต่อจาก Data part ที่มีรูปแบบการจัดเรียงดังรูปที่ 3.22 ในข้างต้น หลังจากการผ่านกระบวนการส่งข้อมูลแล้ว ต่อมาจะเป็นกระบวนการรับข้อมูลจะมีกระบวนการตรวจสอบ Header part ของ Packet แล้วจึงจะทำการตรวจสอบ CRC-32 เมื่อตรวจสอบ CRC-32 ตรวจสอบข้อมูลได้ถูกต้อง จะทำการอ่านลำดับ Sequence part และทำการจัดเรียงข้อมูลจนสำเร็จ รวมเป็นไฟล์ MIDI ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 Flow chart แสดงการทำงานการแบ่งข้อมูล MIDI เป็น Packet ที่มี Sequence part



รูปที่ 3.26 Flow chart แสดงการทำงานการรับข้อมูล MIDI เป็น Packet ที่มี Sequence part

3.2 การออกแบบสถานีภาคพื้นดิน

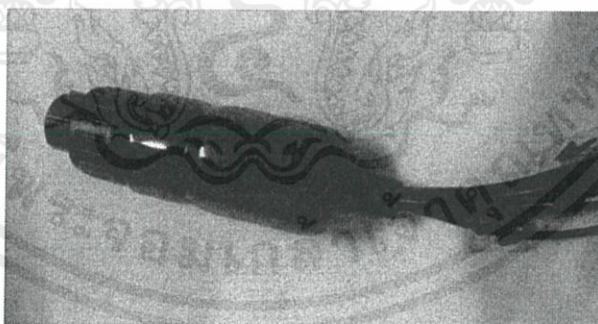
สถานีภาคพื้นดินจะมีทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ ซึ่งจะทำการติดตั้งอยู่ที่บริเวณดาดฟ้าตึก 12 ชั้น และสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถถอดประกอบได้ ใช้สำหรับงานในภาคสนาม

3.2.1 การออกแบบชุดการควบคุม Rotator ของสายอากาศทั้งสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่และสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่

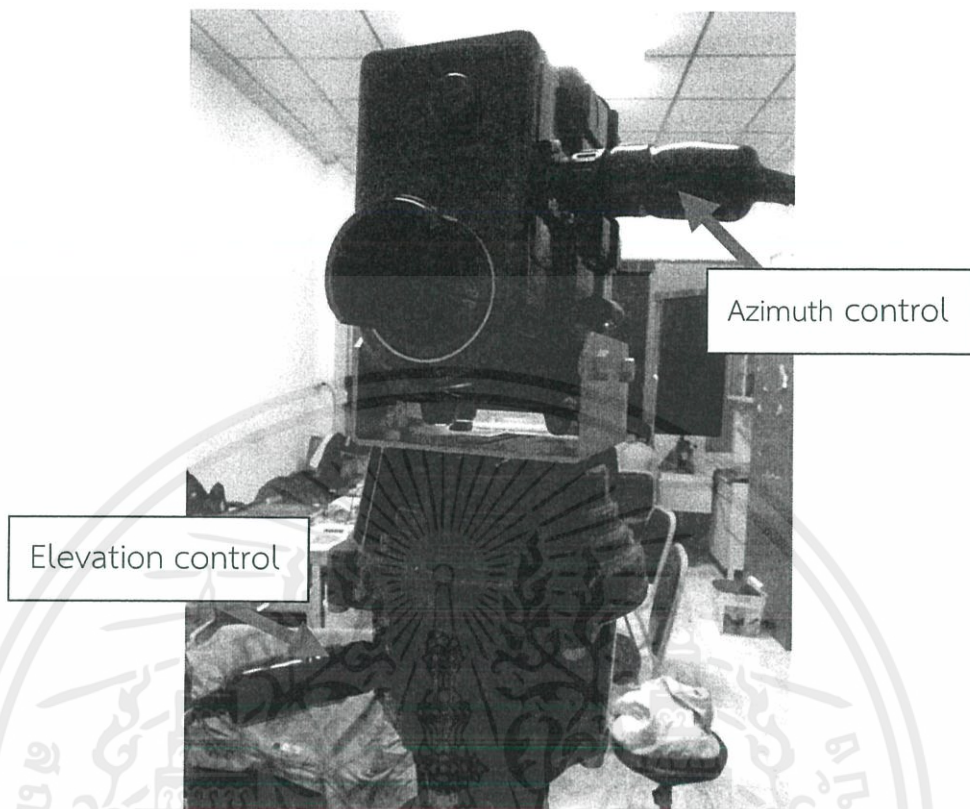
สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่และสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ เป็นชุดควบคุม Rotator Yaesu รุ่น G-5500 เหมือนกัน ดังนั้นจึงมีรูปแบบการประกอบและชุดควบคุมของการติดตั้งตาม ดาวเทียมแบบเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่สถานีพื้นดินแบบเคลื่อนที่มีขนาดเล็กกว่า จึงเป็นชุดอุปกรณ์ที่สามารถนำไปปฏิบัติภารกิจภาคสนามได้

3.2.1.1 การจัดเตรียม และประกอบชุด Rotator ทั้งสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ และสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่

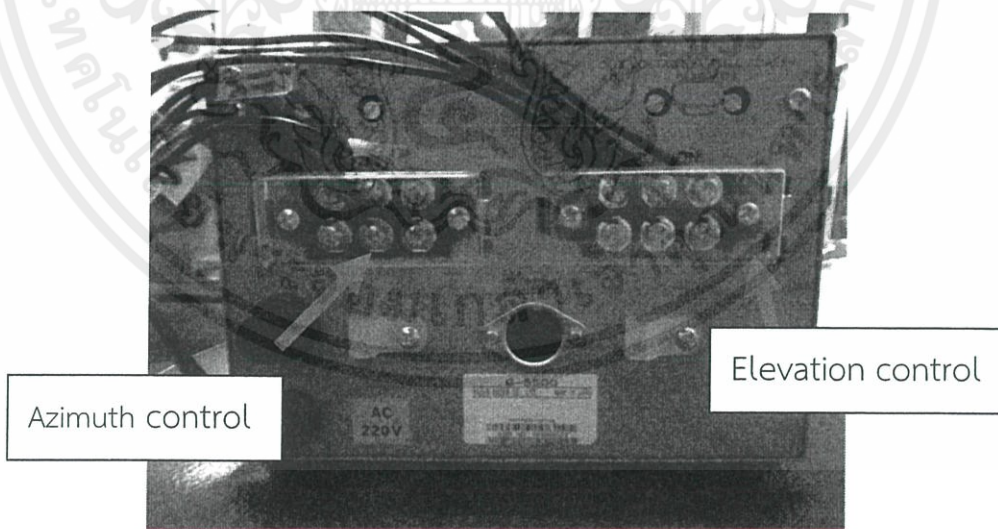
ชุด Rotator ที่ใช้เป็น Yaesu รุ่น G-5500 มีชุดควบคุมแบบ Manual ซึ่งจะเชื่อมต่อกับตัว Rotator ด้วย AWG#18 จำนวน 12 เส้น ดังรูปที่ 3.27 แบ่งเป็นการควบคุมการหมุนมุม Azimuth 6 เส้น ดังรูปที่ 3.28 และการควบคุมการหมุนมุม Elevation 6 เส้น ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.27 Connector ที่เชื่อมต่อกับตัว Rotator



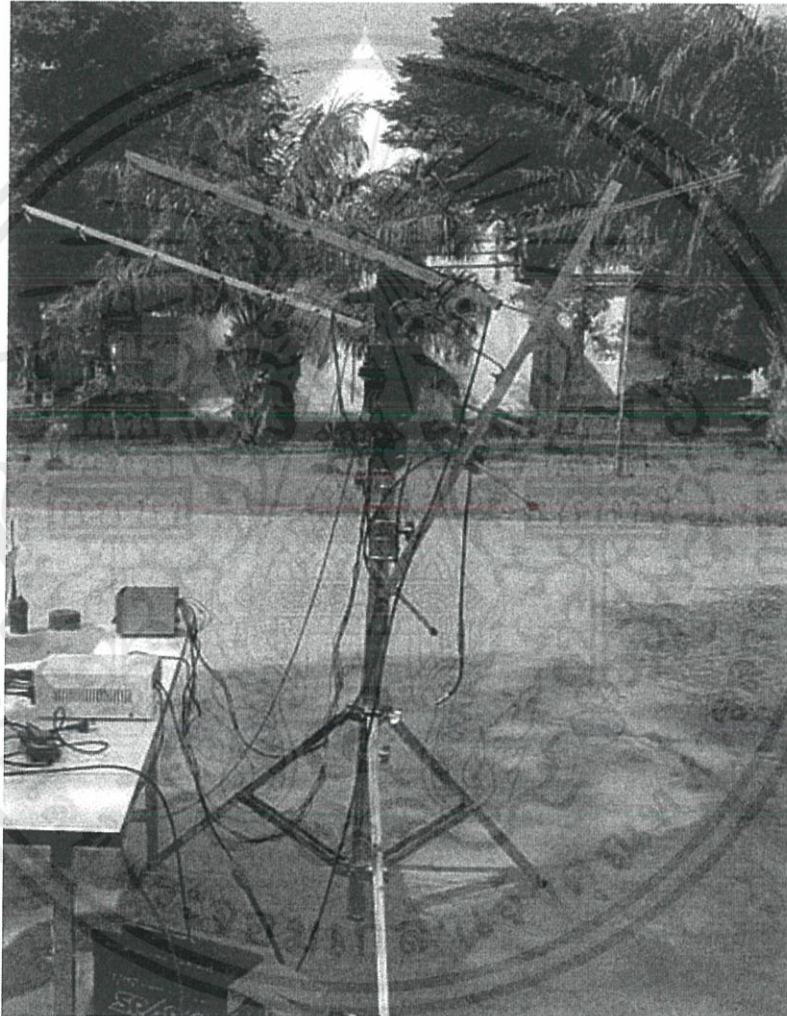
รูปที่ 3.28 การเชื่อมต่อตัว Connector กับตัว Rotator



รูปที่ 3.29 การเชื่อมต่อตัว Connector กับชุดควบคุม Manual

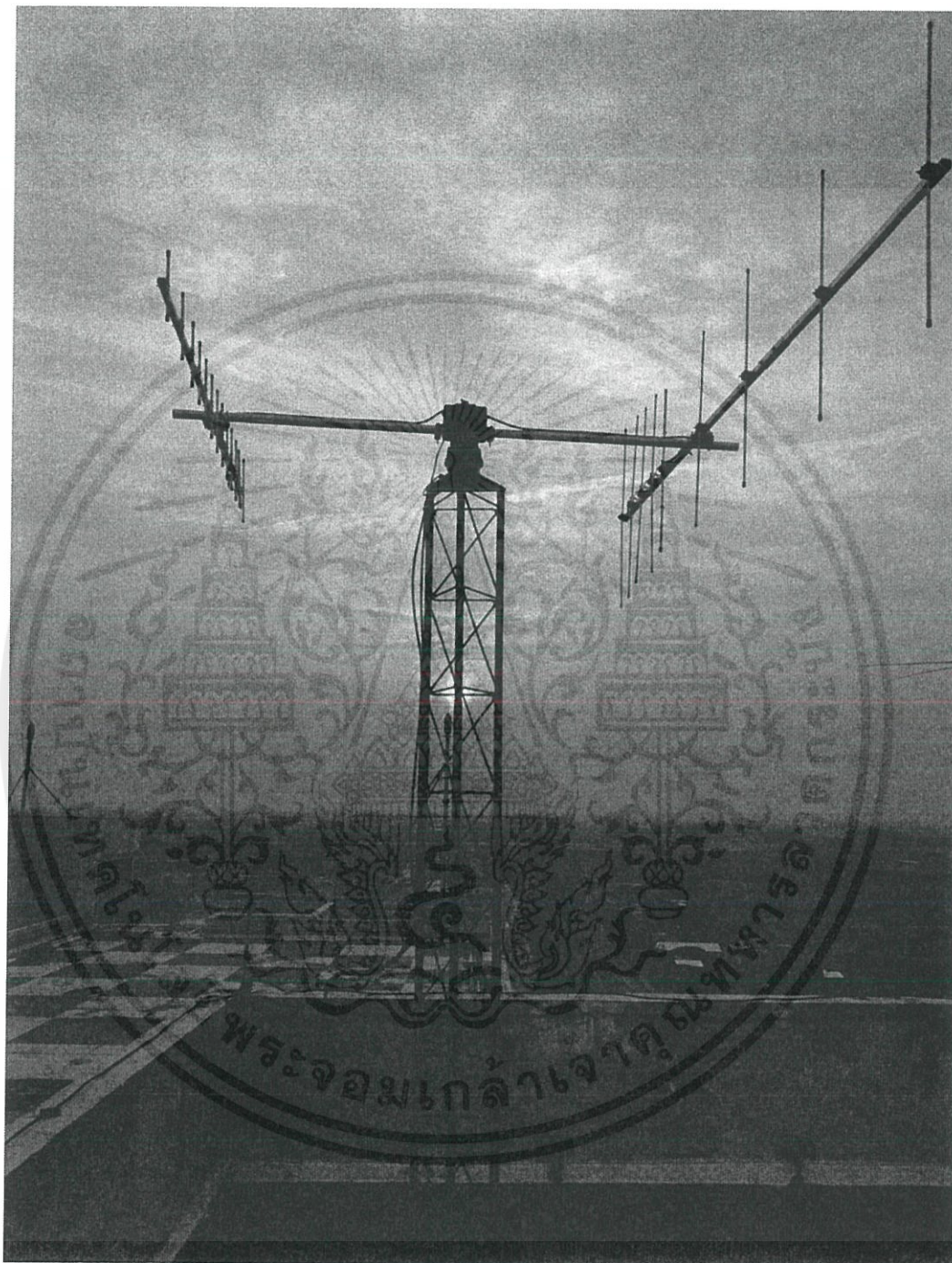
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมานำชุด Rotator ไปประกอบเข้ากับชุดสายอากาศแบบเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศย่าน VHF ที่สามารถรับส่งข้อมูลช่วงความถี่ 143-146 MHz และสายอากาศย่าน UHF ที่สามารถรับส่งข้อมูลช่วงความถี่ 430-440 MHz ดังรูปที่ 3.30 สำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ และรูปที่ 3.31 สำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่



รูปที่ 3.30 สถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



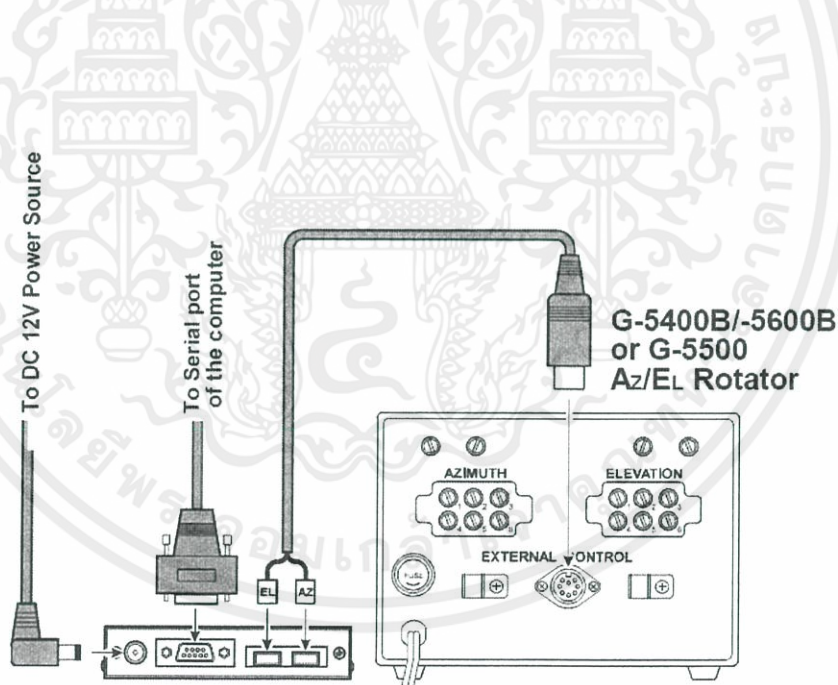
รูปที่ 3.31 สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

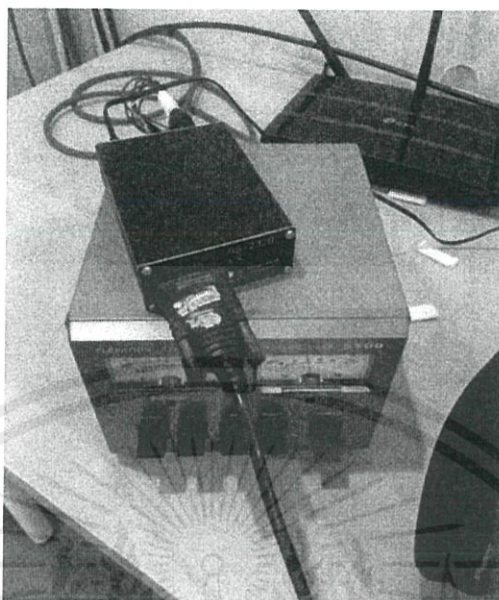
3.2.2 การออกแบบการเชื่อมต่อชุดของการติดตามดาวเทียมสำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่

สำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ นั้น ได้ทำการออกแบบให้สามารถทำการติดตามดาวเทียม ที่อยู่ในวงโคจรรอบโลก เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมการติดตามแบบจำลองดาวเทียมคิวิซ์แซท เมื่อแบบจำลองดาวเทียมคิวิซ์แซทนั้นสามารถปฏิบัติภารกิจในโคจรรอบโลกได้

ชุด Rotator Yaesu รุ่น G-5500 ซึ่งมี Port external control เป็น Port 8 pin ควบคุม และจะมีอุปกรณ์ GS-232 ต่อจาก Port external ของ G-5500 เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย Serial port RS-232C ดังรูปที่ 3.32 และใช้ซอฟต์แวร์จากคอมพิวเตอร์ Pstrotator software เป็นโปรแกรมการควบคุมการปรับการหมุนและควบคุมการติดตามดาวเทียม

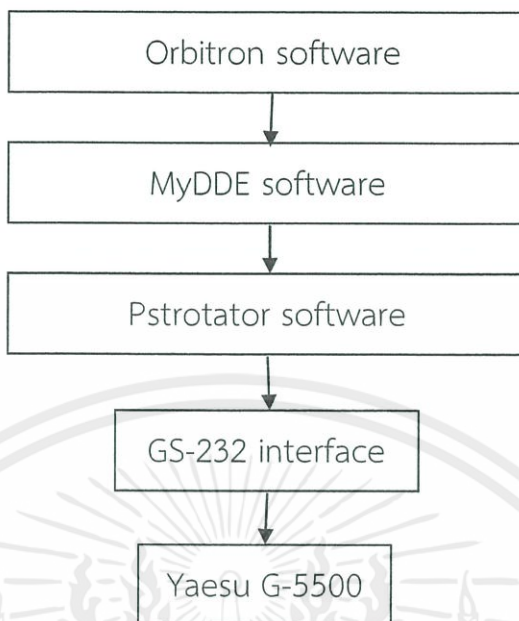


รูปที่ 3.32 แผนผังการเชื่อมต่อ G-5500 กับชุด Interface GS-232C



รูปที่ 3.33 การเชื่อมต่อ G-5500 กับชุด Interface GS-232C

โดยจะทำการควบคุมชุด Rotator Yaesu รุ่น G-5500 ผ่านตัว Interface RS-232C ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและทำการดึงข้อมูลสำหรับการติดตามดาวเทียม สามารถแบ่งออกได้เป็นทั้งหมด 3 ส่วน ได้ดังนี้ ส่วนการควบคุม Rotator โปรแกรมที่ใช้ คือ Pstrotator ส่วนการคำนวณและการทำนายวงโคจรของดาวเทียม โปรแกรมที่ใช้ คือ Orbitron และส่วนการดึงข้อมูลจากการคำนวณและการทำนายวงโคจรของดาวเทียมไปสู่การควบคุม Rotator โปรแกรมที่ใช้ คือ MyDDE ซึ่งสามารถแสดงการทำงานของการทำงานของการติดตามดาวเทียมเป็นขั้นตอนแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 กระบวนการทำงานของการติดตามดาวเทียมด้วยชุด Rotator G-5500

3.2.3 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 สำหรับสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

การสำหรับการทดลองการรับ-ส่งของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท นั้น ยังไม่สามารถที่จะให้แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทโคจรรอบโลกได้จริง จึงทำการทดสอบด้วยระดับความสูงโดยประมาณ 20 km จึงทำให้ต้องใช้สถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ เป็นสถานีภาคพื้นดินรับ-ส่งข้อมูลของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายสถานี สามารถติดตามแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทได้

แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 มีภารกิจหลักในการรับส่งข้อมูล 3 ประเภท คือ ข้อมูลข้อความที่ถูกเข้ารหัส ข้อมูลภาพถ่าย และข้อมูลประเภท MIDI รวมถึงการส่งพารามิเตอร์บ่งบอกสถานะของแบบจำลองวิศวกรรมดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

3.2.3.1 โหมดแสดงสถานะของแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท

โหมดการทำงานแรกเป็นส่วนแสดงผลหลักของสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ส่วนการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์จากแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท

1.1) การแสดงผลข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยใช้แอปพลิเคชัน Google Map เข้ามาช่วยในการแสดงผลบนแผนที่ที่จะแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมคิวบ์แซทเพื่อใช้ในการติดตาม

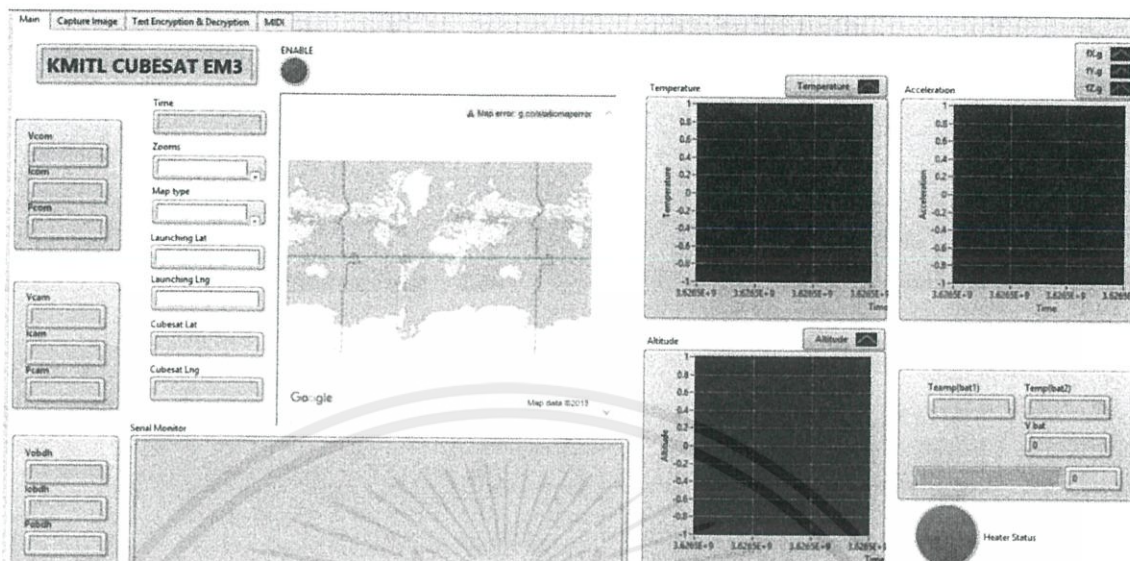
1.2) การแสดงสถานะของดาวเทียมคิวบ์แซท ซึ่งมีสถานะดังนี้ OK คือสถานะการทำงานปกติ มีการส่งข้อมูลเซนเซอร์มายังสถานีภาคพื้นดิน

1.3) กราฟแสดงผลข้อมูล ประกอบไปด้วย 4 กราฟ คือกราฟแสดงความสูงของดาวเทียมคิวบ์แซท กราฟแสดงความกดอากาศบริเวณที่ดาวเทียมคิวบ์แซทอยู่ กราฟแสดงความเร่ง 3 แกน และกราฟแสดงอุณหภูมิภายในดาวเทียมคิวบ์แซท

1.4) การแสดงแพ็คเกจข้อมูลที่ได้รับมาจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

2. ส่วนของการส่งคำสั่งเพื่อสั่งงานแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

ในโหมดนี้มี 1 คำสั่ง คือ คำสั่งขอรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 โดยผู้จัดทำกำหนดอักขระ “a” เป็นพารามิเตอร์ตัวกำหนดการส่งข้อมูลประเภทนี้ ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 หน้าต่างการทำงานในโหมดการแสดงผลหลัก

3.2.3.2 โหมดการทำงานส่วนแสดงผลข้อมูลรูปแบบ MIDI

โหมดการทำงานในส่วนนี้เป็นส่วนที่ย่อยที่แยกมาจากส่วนแสดงผลหลักของสถานีภาคพื้นดิน ดังรูปที่ 3.36 ซึ่งประกอบไปด้วย

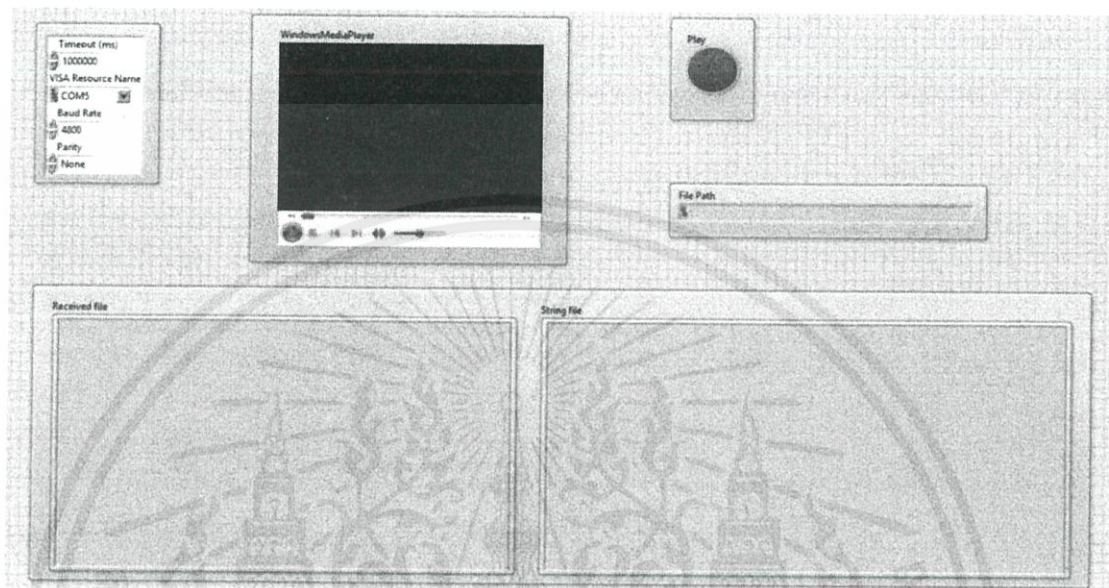
1. ส่วนของการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

จะเป็นการแสดงผลข้อมูลที่เป็นได้จากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ซึ่งจะแสดงผลข้อมูลที่รับได้ที่อยู่ในรูปแบบเลขฐาน 16 และจะแสดงผลหลังจากการแปลงข้อมูลเป็น ASCII code ปกติ แล้วนำข้อมูลที่ได้รวมเป็นไฟล์ MIDI

2. ส่วนของการส่งคำสั่งเพื่อสั่งเลือกไฟล์ MIDI ที่ต้องการรับจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3

ทางผู้จัดทำได้กำหนดพารามิเตอร์ไว้เป็นอักขระ 2 ตัว อักขระตัวแรกเป็นอักขระ “m” เพื่อกำหนดว่าเป็นคำสั่งเลือกการส่งข้อมูลประเภท MIDI และอักขระตัวสองเป็น “1”

ถึง “7” เพื่อกำหนดว่าต้องการส่งไฟล์ MIDI ไດ ตัวอย่าง “m1” หมายถึง คำสั่งส่งข้อมูลประเภท MIDI และส่งไฟล์ลำดับที่ 1



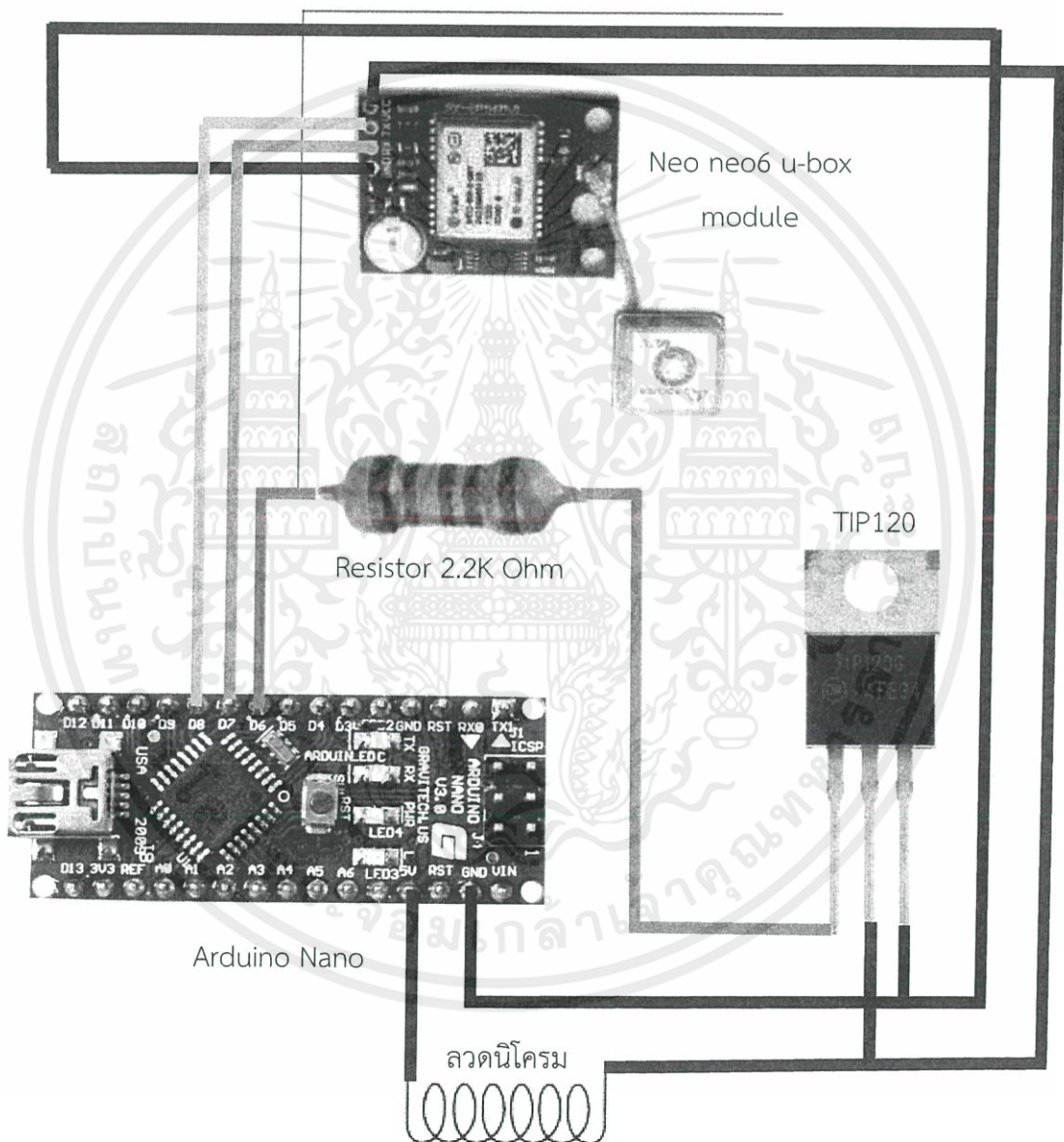
รูปที่ 3.36 หน้าต่างการทำงานในโหมดการทำงานส่วนแสดงผลข้อมูลรูปแบบ MIDI

จากรูปที่ 3.36 บริเวณพื้นที่ด้านซ้ายล่างจะทำการแสดงข้อมูลที่รับได้ ส่วนบริเวณพื้นที่ด้านขวาล่างจะทำการแสดงข้อมูลที่รับในรูปของ ASCII code และเมื่อรับข้อมูลได้แล้วก็จะทำการรวมข้อมูลเป็นไฟล์ที่เป็นประเภท MIDI

3.3 การออกแบบการ Deploy สายอากาศ

ในการปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทซึ่งขึ้นสู่อวกาศนั้นต้องมีขนาด 1U (10 cm × 10 cm × 10 cm) ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งความยาวของสายอากาศจะเกินมาตรฐานกำหนด จึงทำให้ต้องมีการพับเก็บสายอากาศไว้ก่อนแล้วจึงค่อย Deploy ส่วนการออกแบบวงจร Deployment ของสายอากาศนั้น จะใช้ทรานซิสเตอร์ TIP120 ที่ออกแบบให้ทำงานเหมือนสวิตช์ ที่

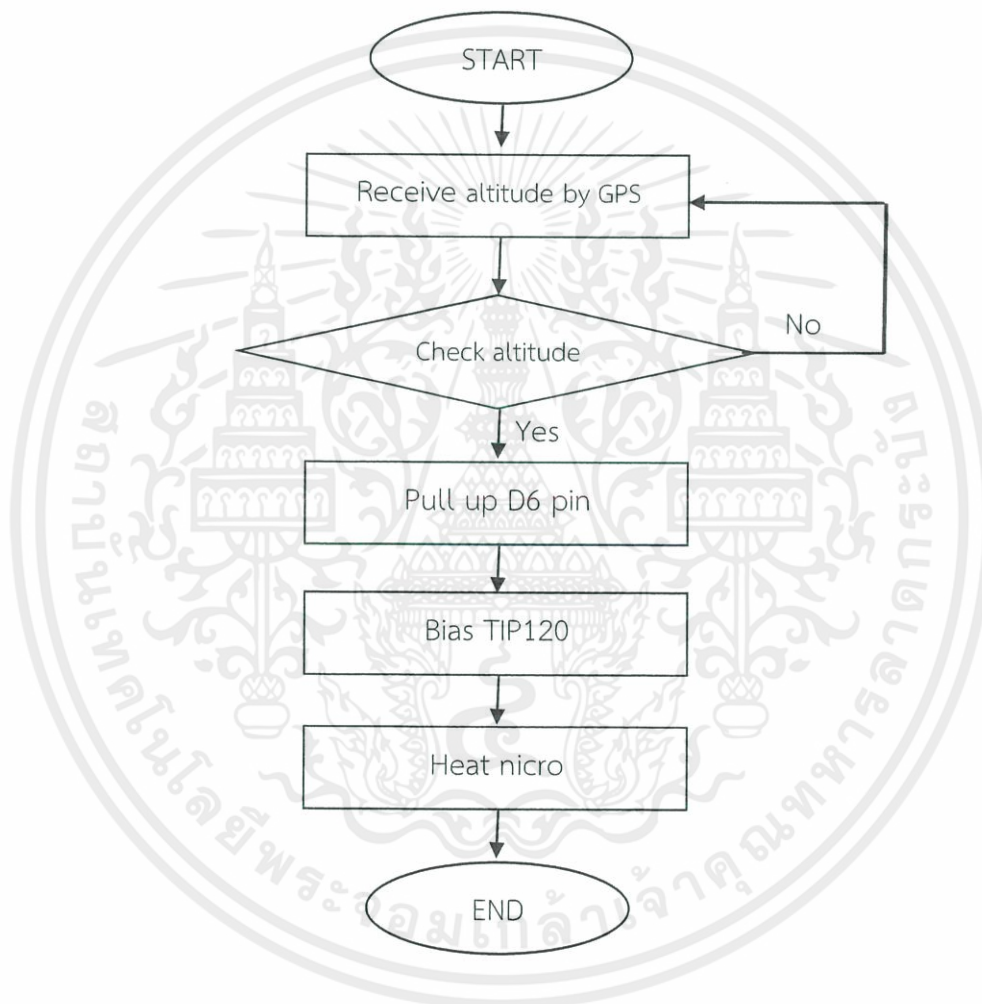
เปิด-ปิดที่ให้ความร้อนกับลวดนิโครมให้ความร้อนมากพอที่จะตัดเชือกที่ทำการเก็บสายอากาศได้โพล
ไว้ ซึ่งจะมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 วงจรระบบการ Deployment ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

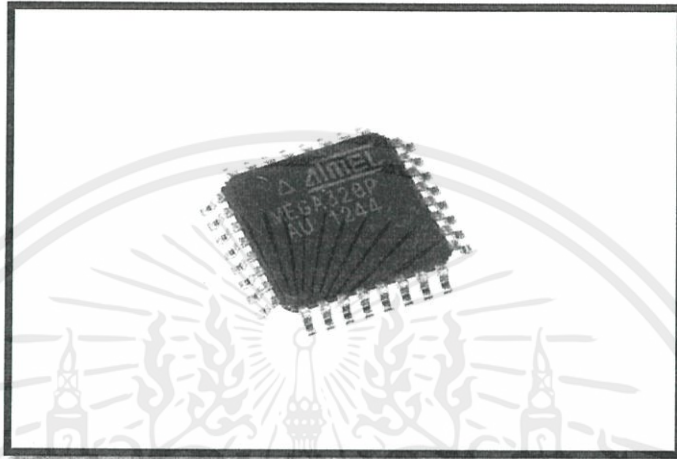
การทำงานของระบบวงจรที่ออกแบบขึ้นมา จะทำการ Pull Up (Arduino Nano D6 pin) ไปทำการ Bias ทรานซิสเตอร์ TIP120 ที่ Base pin ก็ต่อเมื่อ ข้อมูลความสูงที่ได้รับได้จาก GPS (Arduino Nano D7 pin และ D8 pin) นั้นมีค่ามากกว่าความสูงที่กำหนดแล้ว จะทำการ Bias ที่ Base pin จะเสมือนการทำให้ Collector pin กับ Emitter pin เชื่อมต่อเป็นวงจรเดียวกัน เกิดค่าความต่างศักย์ที่ Collector pin ที่จ่ายให้กับหลอดนิโครมที่มี Flow chart ดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 Flow chart การทำงานระบบ Deployment สายอากาศ

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 หน่วยประมวลผล ATmega328p ใช้ทำเป็น TNC modem ในส่วนการสื่อสารที่ย่านความถี่ VHF แสดงดังรูปที่ 3.39



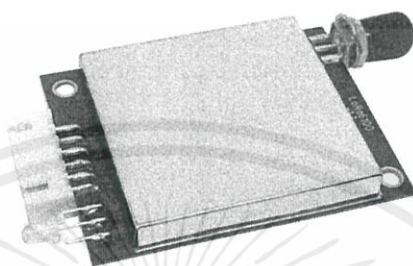
รูปที่ 3.39 หน่วยประมวลผล ATmega328p

3.4.2 หน่วยประมวลผล ATmega2560 ใช้ในประมวลผลข้อมูลในการรับ-ส่ง เช่น การจัดรูปแบบ Packet แสดงดังรูปที่ 3.40



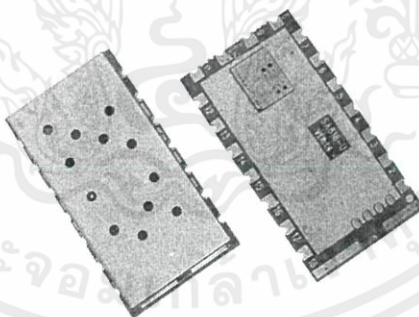
รูปที่ 3.40 หน่วยประมวลผล ATmega2560

3.4.3 โมดูล LoRa6100AES เป็นโมดูลใช้ในการทำ Lora Modulation และ Lora Demodulation ในส่วนการสื่อสารย่าน UHF ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 โมดูล LoRa6100AES

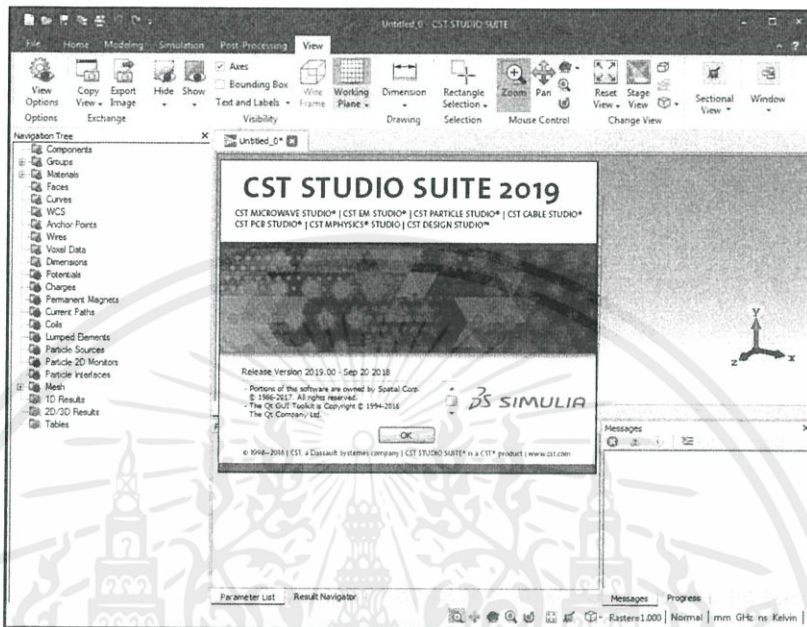
3.4.4 โมดูล SA818-VHF ส่วนที่ใช้ในเลือกช่วงความถี่ของสัญญาณที่จะทำไปรับ-ส่ง ในย่านความถี่ VHF แสดงดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 โมดูล SA818-VHF

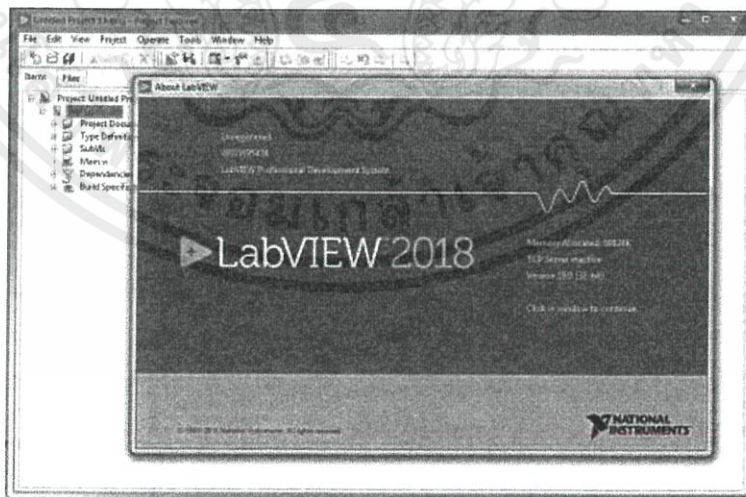
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 โปรแกรม CST studio suit โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและจำลองการทำงานต่างๆ ของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 โปรแกรม CST studio suit

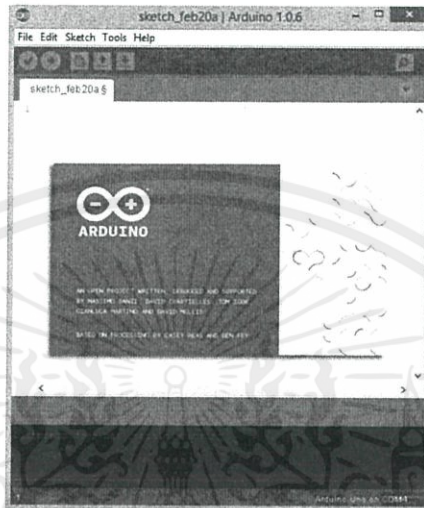
3.4.6 โปรแกรม LabVIEW ใช้ในการสร้างซอฟต์แวร์สำหรับ Ground Station แสดงดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 โปรแกรม LabVIEW

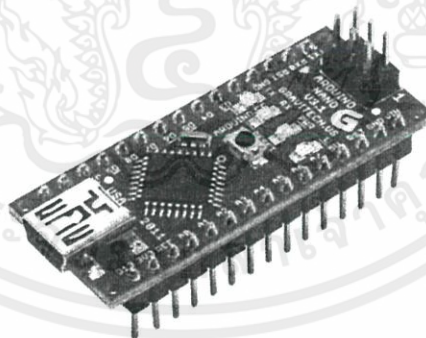
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 โปรแกรม Arduino ใช้ในการเขียนชุดคำสั่งเพื่อควบคุมหน่วยประมวลผล Atmega328P ในการส่งข้อมูล รวมถึงการสร้างชุดคำสั่ง แสดงดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 โปรแกรม Arduino

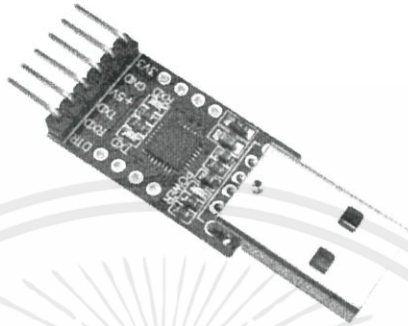
3.4.8 Arduino NANO ใช้เป็นหน่วยประมวลผล Atmega328P สามารถเข้าใจชุดคำสั่งที่เขียนจากโปรแกรม Arduino ได้ แสดงดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 Arduino NANO

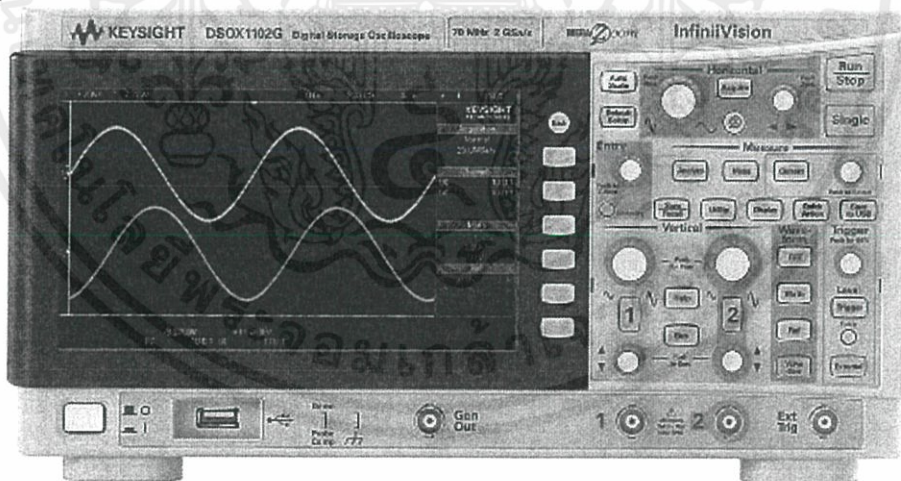
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 โมดูล USB2.0 to TTL UART 6 PIN ใช้ในการอัปโหลดชุดคำสั่งจากโปรแกรม Arduino ลงบนหน่วยประมวลผล Atmega328P แสดงดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 โมดูล USB2.0 to TTL UART 6 PIN

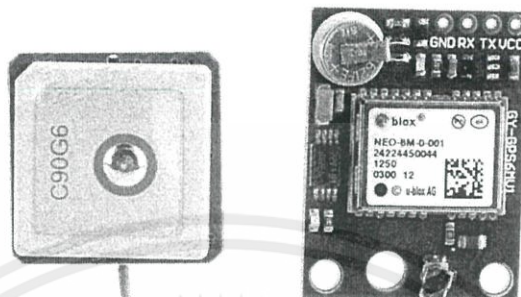
3.4.10 เครื่อง Oscilloscope ประเภท UART รุ่น DSOX1102G ของ Keysight Technology ใช้ในการวัดและบันทึกผล แสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 เครื่อง Oscilloscope รุ่น DSOX1102G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.11 GPS NEO-6M Ublox เป็นอุปกรณ์ในการรับตำแหน่ง GPS และใช้
คำนวณหาความสูง แสดงดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 GPS NEO-6M Ublox

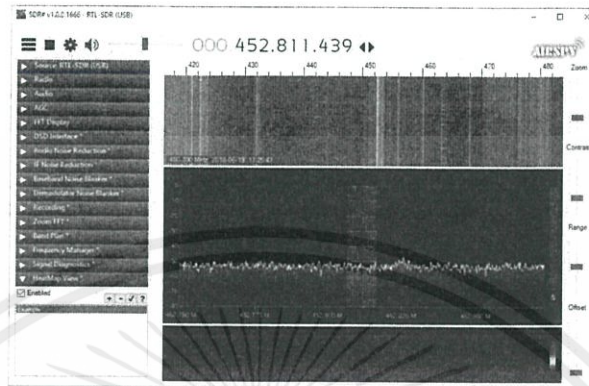
3.4.12 SDR Dongle อุปกรณ์ในการรับสัญญาณ ใช้ร่วมกับโปรแกรม SDR Shape
แสดงดังรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 SDR Dongle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.13 โปรแกรม SDRSharp โปรแกรมแสดงสเปกตรัมของสัญญาณใช้งานร่วมกับ SDR Dongle แสดงดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 โปรแกรม SDRSharp

3.5 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.5.1 การจัดเก็บผลการทดสอบสายอากาศแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม คิวบแซท EM-3

ในการทำการทดสอบอากาศในขั้นตอนนี้ จะนำสายอากาศไดโพลทั้งย่านความถี่ VHF และ UHF ไปวัดผลตอบสนองด้วยเครื่อง Network Analyzer ในห้องปฏิบัติการไร้การสะท้อน รวมทั้งวัดค่า VSWR และ S11 เพื่อตรวจสอบการ Matching ของสายอากาศทั้งสอง

3.5.2 การจัดเก็บผลการทดสอบการทำงานของสายอากาศ UHF และ VHF

จากการทดสอบว่าอากาศมีผลตอบสนองในช่วงที่ต้องการ และตรวจสอบอากาศว่ามีประสิทธิภาพที่สามารถใช้งานได้ด้วยการ Matching แล้ว ต่อมาจึงเป็นการทดสอบการใช้งานรับ-ส่งข้อมูลด้วยสายอากาศ การทดสอบอากาศในย่านความถี่ VHF นั้นจะใช้ walkie talkie เป็นเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ ร่วมกับอากาศ VHF ส่วนสายอากาศในย่านความถี่ UHF นั้นจะใช้โมดูลเครื่องรับ-ข้อมูลในย่านความถี่ UHF และตรวจสอบข้อมูลที่สามารถรับได้ ตรงกันกับข้อมูลที่ได้ทำการส่งไป เพื่อทดสอบว่าอากาศอากาศสามารถทำการรับ-ส่งข้อมูลได้

3.5.3 การจัดเก็บผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายอากาศร่วมกับโมดูล

ในการออกแบบนั้นโมดูลที่ใช้ในย่านความถี่ VHF คือ SA818 ใช้งานร่วมกับ ATmega328p ที่ทำงานเป็นเครื่องรับ-ส่งข้อมูล ส่วนโมดูลที่ใช้ในย่านความถี่ UHF คือ

LoRa6100AES ที่ทำงานเป็นเครื่องรับ-ส่งข้อมูล ในการทดสอบจะทำการส่งข้อมูลในรูปแบบ ASCII แล้วตรวจสอบข้อมูลที่รับได้

นอกจากจะทดสอบการทำงานในแต่ละส่วนแล้ว การทำงานร่วมกันทั้งสองย่านความถี่เป็นเป้าหมายหลักในการทำงานของระบบสื่อสาร ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบโดยการรับ-ส่งไฟล์ MIDI โดยจะทำการส่งข้อมูลชุดคำสั่งที่เป็น ASCII ในย่านความถี่ VHF เพื่อเป็นการคำสั่งให้ ในย่านความถี่ UHF ทำการส่งไฟล์ MIDI มายังสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้ เป็นการทดสอบการทำงานร่วมการของอากาศและโมดูลที่ใช้ รวมทั้งการทดสอบสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

3.5.4 การจัดเก็บผลการตรวจสอบ CRC-32 ของระบบสื่อสาร

การจัดเก็บผลการตรวจสอบ CRC-32 จะทดสอบโดยการส่งข้อมูลชุดที่ถูกต้อง และข้อมูลชุดที่ผิดพลาดในกรณีต่างๆ ดังนี้ กรณีที่ชุดข้อมูลมีความผิดพลาดที่ตำแหน่ง CRC-32 กรณีที่ชุดข้อมูลมีความผิดพลาดที่ตำแหน่ง Data และกรณีที่ชุดข้อมูลมีความผิดพลาดทั้งตำแหน่ง CRC-32 และ Data โดยชุดข้อมูลที่ใช้ส่งนั้นจะถูกตรวจสอบของข้อมูลโดยการอ่านค่าข้อมูลประเภท Serial จาก Oscilloscope เพื่อตรวจสอบว่าการทำงานของระบบการตรวจสอบข้อมูลโดย CRC-32 มีประสิทธิภาพใช้งานได้

3.5.5 การจัดเก็บผลการทดสอบเซนเซอร์ของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียม คิวบแซท EM-3

การทดสอบเซนเซอร์ GPS NEO-6M Ublox นั้นจะเป็นการทดสอบความแม่นยำของตำแหน่งที่เซนเซอร์ที่รับได้ มาเปรียบเทียบกับเซนเตอร์ GPS ในอุปกรณ์สมาร์ตโฟน และหาตำแหน่งที่คลาดเคลื่อน เพื่อทดสอบความแม่นยำของตำแหน่งที่เซนเซอร์ GPS NEO-6M Ublox

3.5.6 การจัดเก็บผลการทดสอบสถานีภาคพื้นดิน

การทดสอบจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ จะเป็นการทดสอบชุดติดตามดาวเทียม โดยการทดสอบนี้จะทำการติดตามดาวเทียม NOAA15 ที่มีระดับชั้นวงโคจร Low Earth Orbit เช่นเดียวกับดาวเทียมคิวบแซท เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการติดตามดาวเทียมคิวบแซทที่อยู่ในวงโคจรในอนาคต การติดตามดาวเทียม NOAA15 นั้นจะทำการจัดเก็บผลการทดสอบด้วยการรับข้อมูลรูปภาพที่ดาวเทียม NOAA15 กระจายสัญญาณ ขณะที่ดาวเทียมโคจรเข้าสู่น่านฟ้าประเทศไทย สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ที่จะต้องทำการปรับทิศทางของสายอากาศให้สามารถรับข้อมูลจาก NOAA15 เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของ

ชุดติดตามดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ ส่วนการทดสอบสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ จะเป็นการทดสอบร่วมกันกับการทดสอบการทำงานของดาวเทียมคิวบ์แซทด้วยบอลูน โดยสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ที่จะต้องสามารถรับข้อมูลทุกประเภทที่ดาวเทียมคิวบ์แซทส่งมายัง สถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้ และนำมาแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

3.5.7 การจัดเก็บผลการทดสอบ Deployment ของสายอากาศ

การจัดเก็บผลการทดสอบจะเป็นการทดสอบโดยการนำแบบจำลอง ดาวเทียมคิวบ์แซทไปยังความสูงที่ทำให้ระบบ Deployment ของสายอากาศเริ่มทำงาน โดยการทดลองจะกำหนดความสูงที่ทำให้ระบบทำงานที่ 10 m จากพื้นดิน



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-1 ซึ่งได้นำเสนอผลลัพธ์แล้วในภาคการศึกษาที่ 1/2559 (รายละเอียดของการทดลองในแต่ละส่วนจะอยู่ในภาคผนวก ก.) ข้อสรุปที่ได้จากแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-1 คือมีข้อผิดพลาดที่เกิดจากชุดรับส่งสัญญาณบนแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท ทำให้เก็บผลลัพธ์ได้จากกล่องออฟไลน์ และชุดติดตาม APRS เท่านั้น ส่วนแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-2 ได้ทำการแก้ไขและพัฒนาข้อผิดพลาดจากแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-1 โดยมุ่งเน้นการแก้ไขชุดรับส่งสัญญาณบนแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท ผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-2 ได้เก็บผลการทดลองพบว่าปัญหาโมดูลสื่อสารนี้จะปฏิเสธข้อมูลทั้งเฟรมที่มีขนาด 54 bytes ทั้งทั้งหมด ทำให้ปลายทางไม่สามารถรับข้อมูลใดๆได้ แม้กระทั่งข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสช่องสัญญาณแล้ว ทำให้ไม่สามารถแก้ไขความผิดพลาดได้เลย จึงนำไปปรับแก้ไขพัฒนา และทำการทดสอบการปล่อยแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท EM-3 ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลก ในวันเสาร์ที่ 1 ธันวาคม 2561 ณ วัดขุนอินทประมูล ต.อินทประมูล อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง

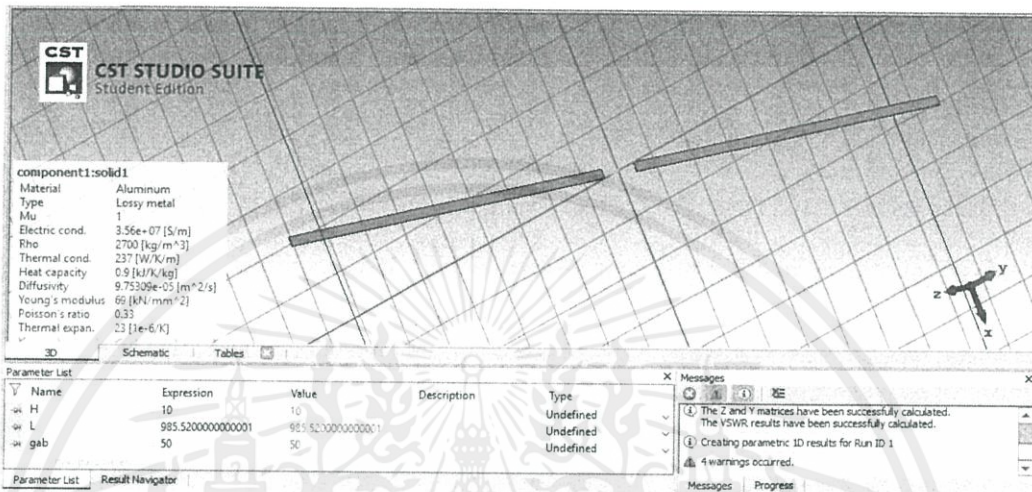
ผลการทดสอบแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท EM-3 แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ผลการทดสอบสายอากาศของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 , ผลการทดสอบการรับ-ส่งของสายอากาศ UHF และ VHF, ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายอากาศร่วมกับโมดูล, ผลการทดสอบเซนเซอร์ของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3 และผลการทดสอบปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซทขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

4.1 ผลการทดสอบสายอากาศแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวบแซท EM-3

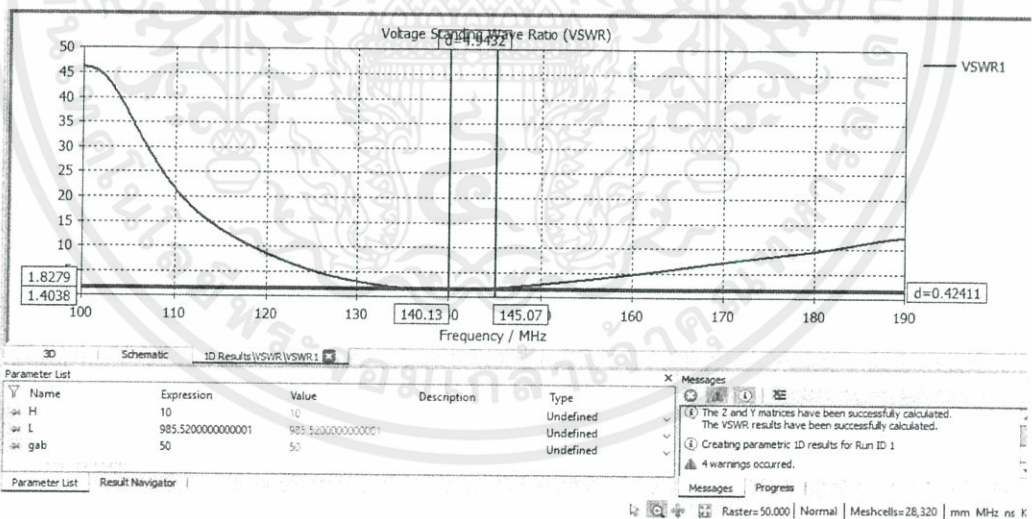
4.1.1 ผลการ Simulation ของสายอากาศจาก CST studio

สายอากาศเป็นไดโพลแบบ half-wavelength เนื่องจากสามารถรับสัญญาณได้กว้างและเป็นรูปแบบสายอากาศที่เหมาะสมมากที่สุดสำหรับการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบย่าน VHF (ความถี่กลาง 145 MHz) และวัสดุเป็นอลูมิเนียม (Electric conductor = 3.56×10^7 [S/m], Thermal conductor = 237 [W/K/m], Rho = 2700 [kg/m³], Heat capacity = 0.9 [kJ/K/kg], Diffusivity = 9.75309×10^{-5} [m²/s], Young's modulus = 69 [kN/mm²], Poisson

ratio = 0.33, Thermal expansion = 23 [10⁶/K]) โดยใช้โปรแกรมช่วยในการ Simulation เป็น CST STUDIO SUITE เพื่อคุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศ ได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



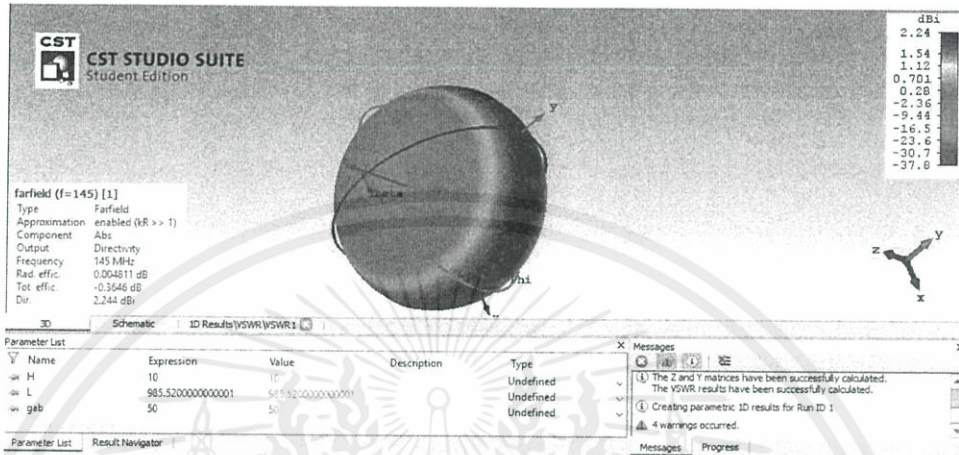
รูปที่ 4.1 การ Simulation สายอากาศ VHF



รูปที่ 4.2 ค่า VSWR ที่ได้จากการ Simulation สายอากาศ VHF

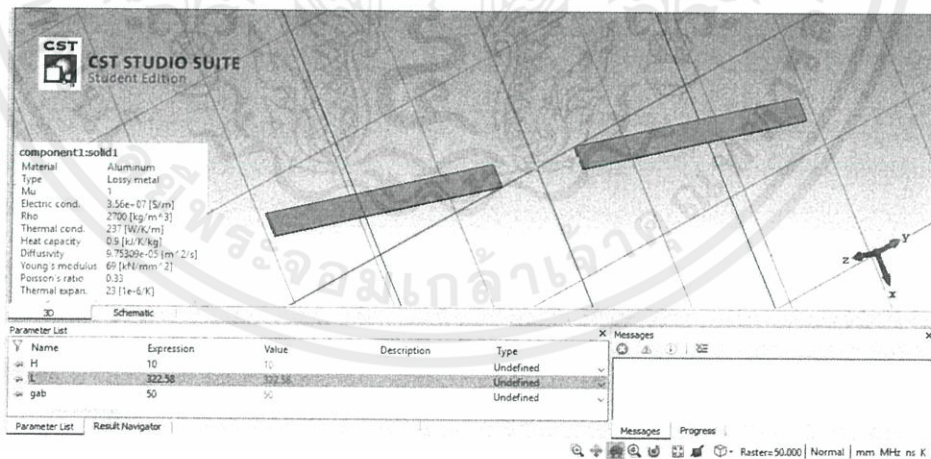
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ผลการ Simulation ของสายอากาศ VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ที่ความถี่กลาง 145 MHz มี VSWR = 1.8279



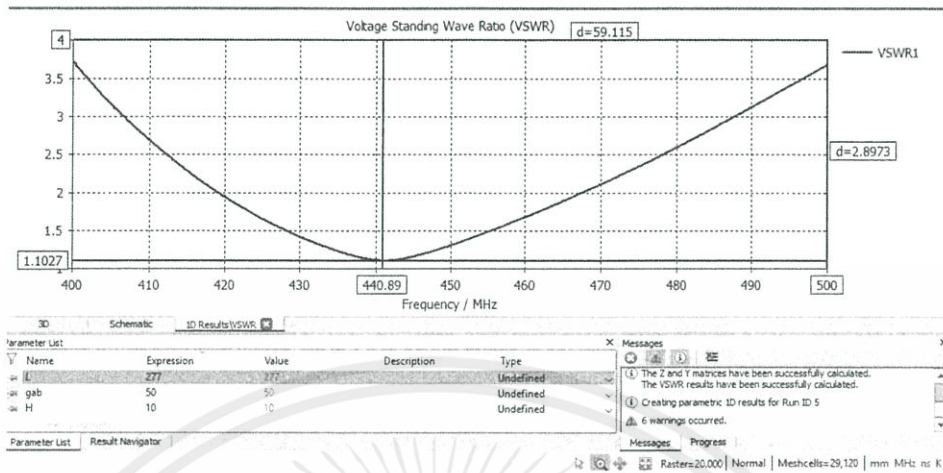
รูปที่ 4.3 Beam Patterns จากการ Simulation สายอากาศ VHF

และได้ Beam Patterns ของสายอากาศไดโพล ดังรูปที่ 4.3 ที่มีลักษณะเป็นวงกลม ตามลักษณะของสายอากาศไดโพล ต่อมาเป็นผล Simulation การออกแบบสายอากาศไดโพลในย่าน UHF ความถี่กลาง 440 MHz



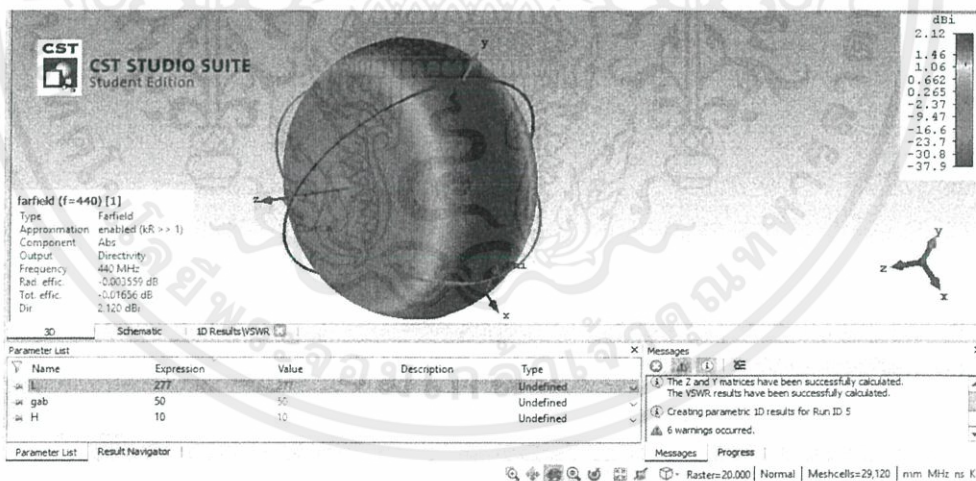
รูปที่ 4.4 การ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่า VSWR ที่ได้จากการ Simulation สายอากาศ UHF
ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm

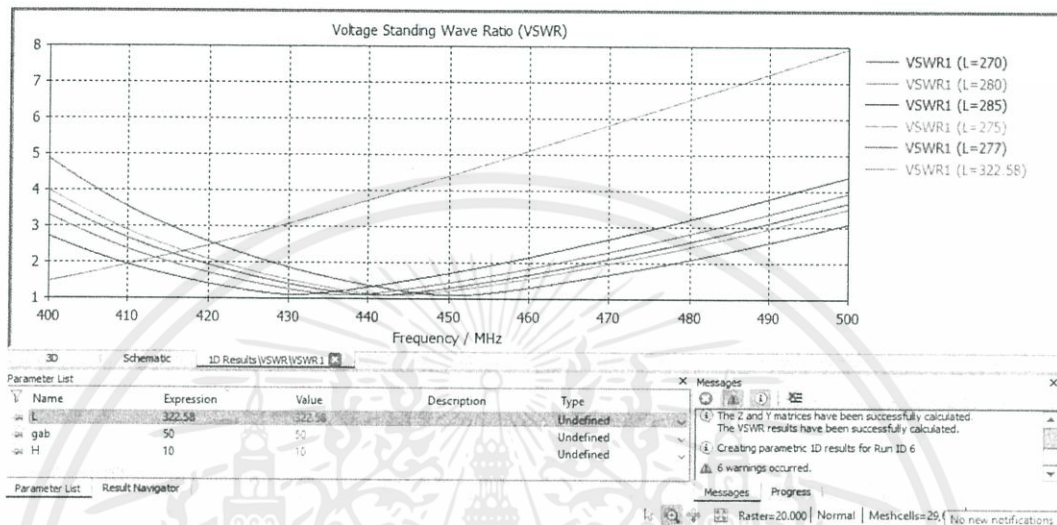
จาก ผลการ Simulation ของสายอากาศ VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)
ที่ความถี่กลาง 440 MHz มี VSWR = 1.1027 ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.6 Beam Patterns จากการ Simulation สายอากาศ UHF
ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

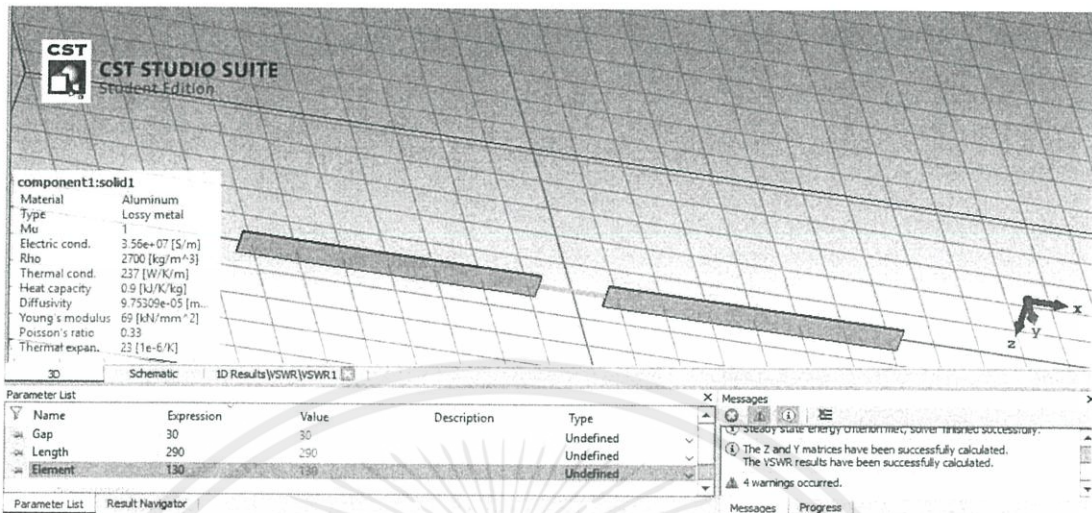
และได้ Beam Patterns ของสายอากาศไดโพล ดังรูปที่ 4.6 ที่มีลักษณะเป็นวงกลม เช่นเดียวกับสายอากาศไดโพล ในด้าน VHF จากข้างต้น



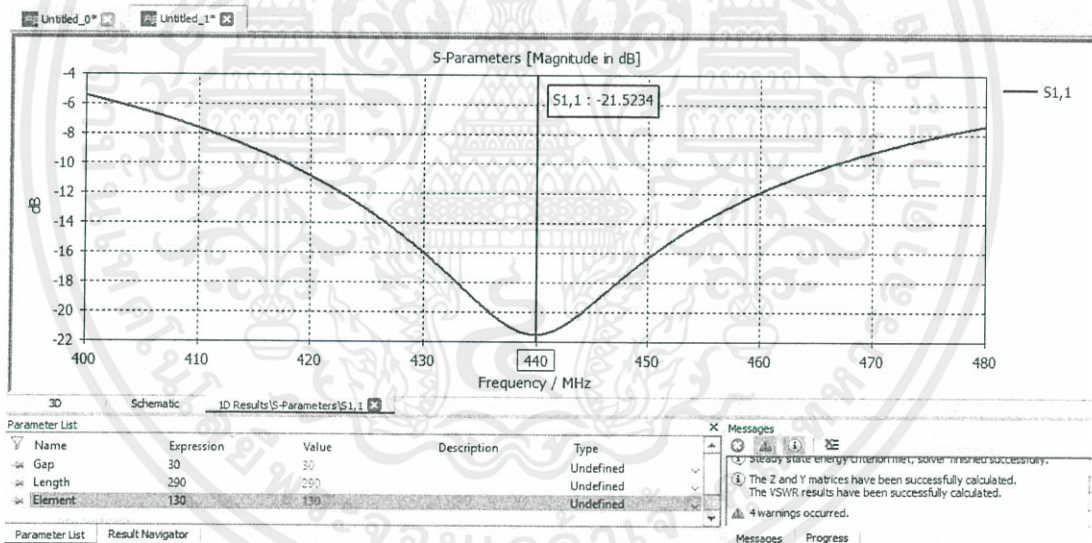
รูปที่ 4.7 VSWR ของสายอากาศไดโพลที่ความยาว L ต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่สายอากาศความยาว $L = 27.7$ cm จะมีความยาวที่ทำให้ค่า VSWR ที่ความถี่ประมาณ 440 MHz ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกออกแบบสายอากาศที่ค่าความยาวดังกล่าวตามรูปที่ 4.7 ซึ่งแตกต่างกับความยาวอย่างง่ายที่ได้คำนวณในข้างต้น

ในการปรับปรุงสายอากาศในย่าน UHF ให้ดียิ่งขึ้น ได้ทำการเพิ่มช่องว่างระยะห่าง Element สายกลับเมตรแบบอลูมิเนียม จาระยะ 5 cm เป็นระยะ 3 cm ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะ L เท่ากัน แต่ระยะห่างระหว่าง Element แคบ จะทำให้ผลตอบสนองของสายอากาศ ตอบสนองในย่านที่มีความถี่สูงกว่า ระยะ L ที่เท่ากันแต่มีระยะห่างระหว่าง Element ที่กว้างกว่า เมื่อทดสอบหาค่าให้ความยาว L ที่เหมาะสมสำหรับระยะห่างระหว่าง Element ที่ 3 cm จากโปรแกรม CST studio ได้ระยะความยาว L เป็น 29 cm ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

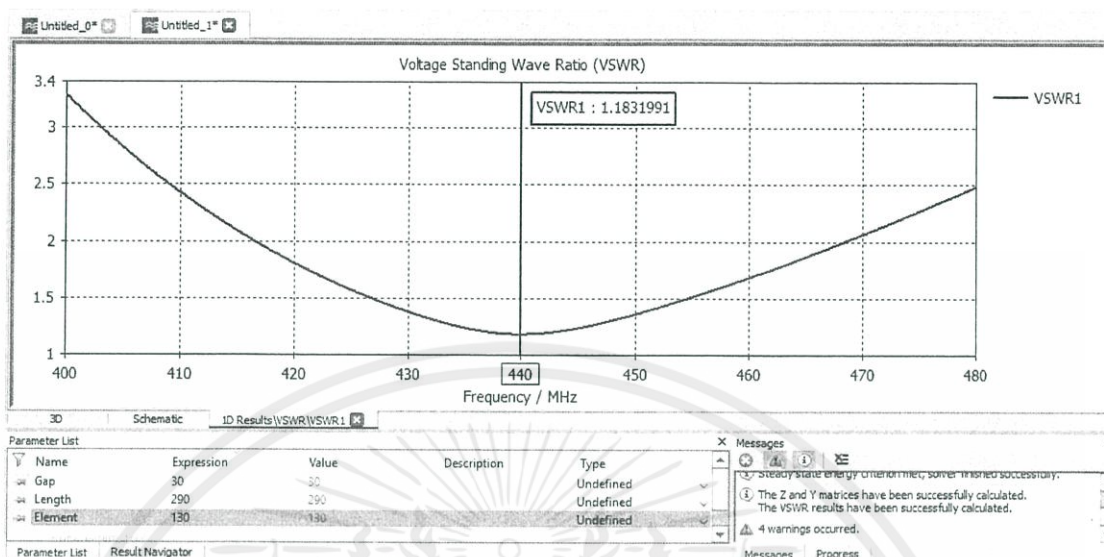


รูปที่ 4.8 การ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm



รูปที่ 4.9 S-Parameters ของการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

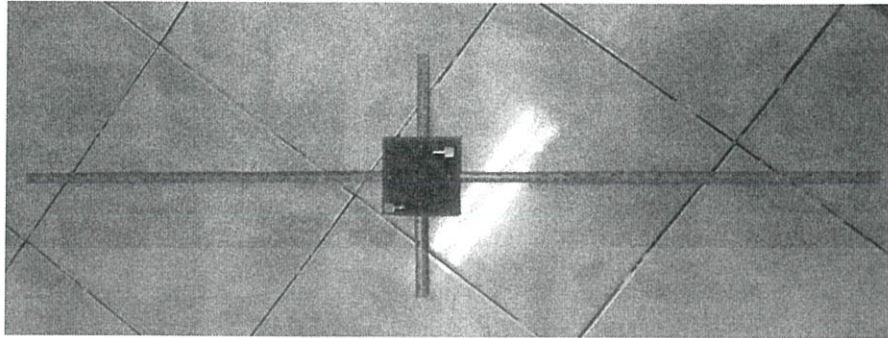


รูปที่ 4.10 VSWR ของการ Simulation สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm

หลังจากนั้นได้ทำการสร้างสายอากาศที่มีระยะความยาว L เท่ากับ 29 cm และความยาวระหว่าง Element เป็น 3 cm ตามข้อมูลที่ได้จากการทำ Simulation ปรากฏว่า ไม่ได้ผลตอบสนองตามข้อมูลที่ Simulation ตาม CST studio โดยผลตอบสนองที่ได้จากการวัดจริงนั้นในช่วงความถี่ที่สูงกว่าในการ Simulation ทำให้ต้องทำการปรับแก้ความยาวของสายอากาศ โดยเริ่มจากระยะ 29 cm จากการ Simulation เป็นระยะอ้างอิงในตอนแรก โดยปรับความยาว L และวัดผลตอบสนองต่อความถี่ให้ได้ผลตอบสนองที่ต้องการ พบว่าความยาว L ที่เหมาะสมคือ 33.8 cm

4.1.2 ผลการการตอบสนองของสายอากาศ

เมื่อนำค่าที่ได้จากการ Simulation อ้างอิงในการสร้างสายอากาศขึ้นมา ต่อมาจึงทำการวัดค่าผลตอบสนอง โดยพิจารณาค่าตอบสนอง ตั้งแต่ 100 – 600 MHz พบว่า สายอากาศในย่าน VHF ดังรูปที่ 4.11 ได้ค่าผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการ Simulation แต่สายอากาศในย่าน UHF ได้ค่าผลตอบสนองที่แตกต่างจากค่าที่ได้จากการ Simulation พบว่าที่ระยะความยาวจากปลายถึงปลาย ที่ทำให้ผลตอบสนองช่วง 430-440 MHz เป็น 33.8 cm ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งค่าจากการทำ Simulation เป็น 29 cm และได้ทำการเก็บผลในห้องปฏิบัติการไร้การสะท้อน ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 5 cm, L 98.5 cm

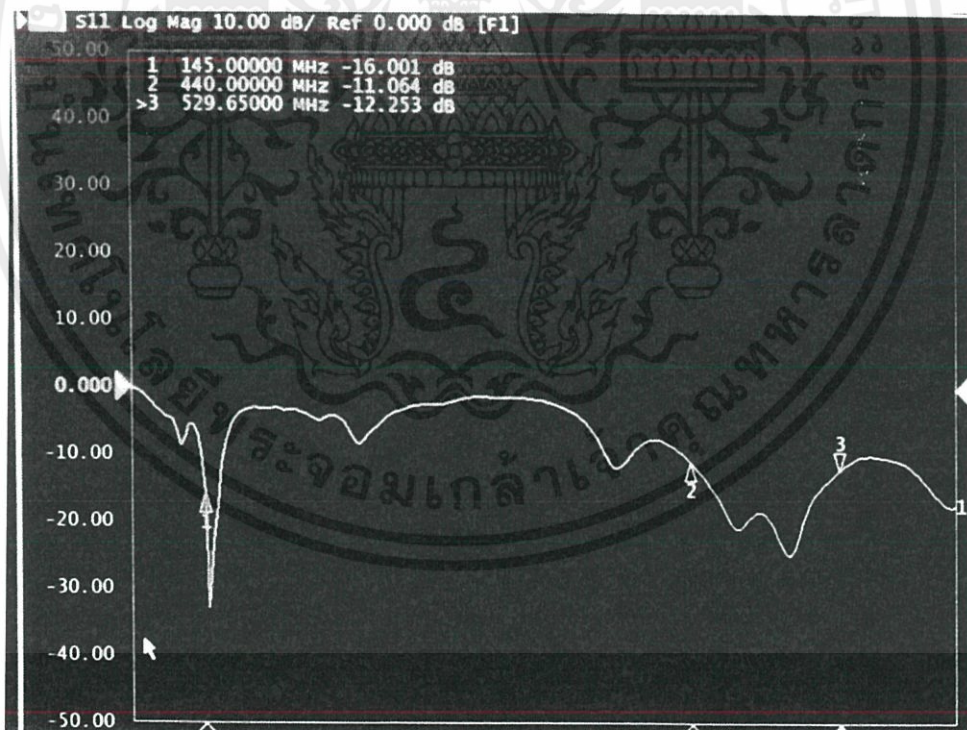


รูปที่ 4.12 สายอากาศ UHF ที่ระยะห่างระหว่าง Element 3 cm, L 33.8 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

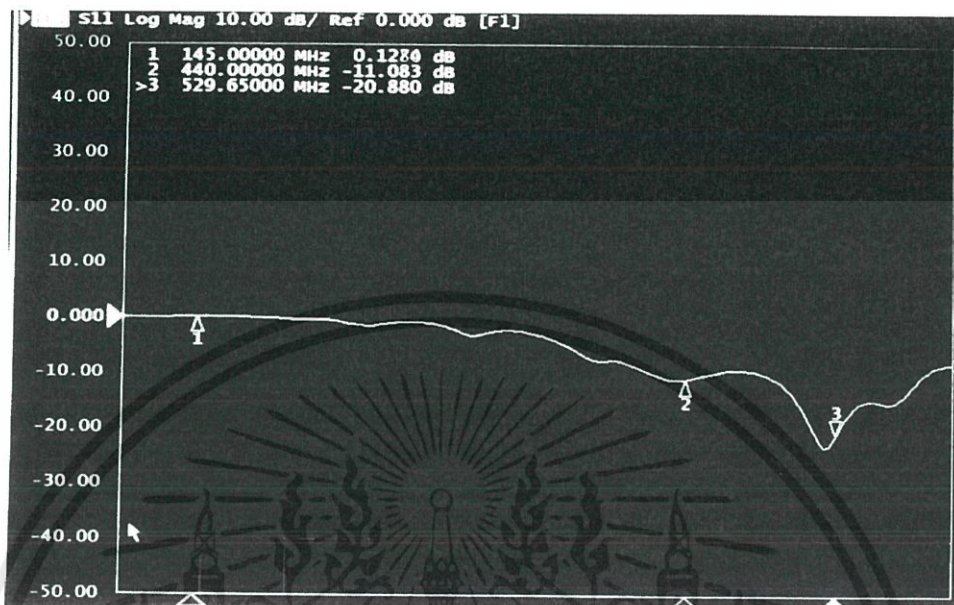


รูปที่ 4.13 ทดสอบสายอากาศ VHF และUHF ในห้องปฏิบัติการไร้การสะท้อน



รูปที่ 4.14 กราฟ S11 จากการวัดสายอากาศย่าน VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟ S11 จากการวัดสายอากาศย่าน UHF

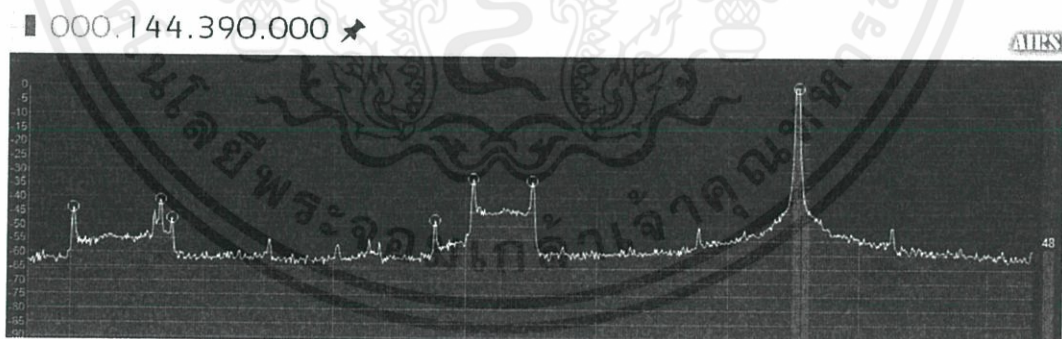
S11 ของสายอากาศย่าน VHF คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพอร์ตฝั่งขาเข้า (Γ) จากการวัดที่ความถี่ 145 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งาน S11 มีค่าเท่ากับ -11.064 ดังรูปที่ 4.14 ส่วน S11 ของสายอากาศย่าน UHF คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพอร์ตฝั่งขาเข้า (Γ) จากการวัดที่ความถี่ 440 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้งาน S11 มีค่าเท่ากับ -11.083 ดังรูปที่ 4.15

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของสายอากาศ UHF และ VHF

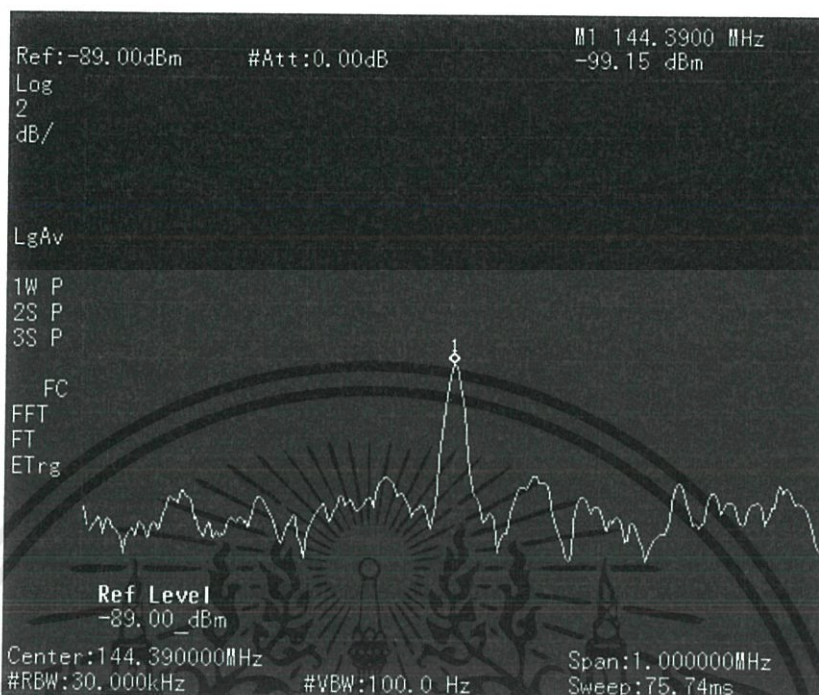
ในการทดสอบการรับ-ส่งสายอากาศที่สร้างขึ้น ในตอนแรกจะทำแบ่งการทดสอบแยกส่วนกัน ส่วนแรก คือ รับ-ส่งเฉพาะฝั่ง VHF และส่วนที่สอง คือ รับ-ส่งเฉพาะ UHF ซึ่งในการทดสอบฝั่ง VHF ใช้วิทยุสื่อสาร Walkie Talkie 2 เครื่อง โดยจะให้เครื่องใดเครื่องหนึ่งใช้สายอากาศที่ได้ทำการสร้างขึ้น ส่วนอีกเครื่องหนึ่งให้ใช้สายอากาศเดิมจากเครื่อง โดยความถี่ในการทดสอบเป็น 144.39 MHz ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 และทำการส่งข้อมูลสื่อสารกัน โดยวิทยุสื่อสาร Walkie Talkie มีกำลังส่งที่ 5 W ดังรูปที่ 4.18 ปรากฏว่า สายอากาศสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ ซึ่งระยะห่างที่ใช้ทำการทดสอบนั้น 8.76 km (ณ ชั้น 12 ตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึง บริเวณปลายรั้วเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ) ดังรูปที่

4.19 ส่วนในฝั่ง UHF นั้น ใช้ โมดูล UHF สำหรับ Arduino ใช้การรับ-ส่งสัญญาณ ซึ่งจะทำการกำหนดค่าที่ใช้ คือ ความถี่ที่ใช้ในการรับ-ส่งเป็น 432.92 MHz ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 กำลังที่ใช้ในการรับ-ส่ง 0.5 Watt ระยะห่างที่ใช้ทำการทดสอบเป็นระยะเดียวกันกับฝั่ง VHF ปรากฏว่าสามารถรับ-ข้อมูลได้ ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลในรูปแบบ Text

ในการทดสอบขั้นต่อมาเป็นการทดสอบสายอากาศทั้งฝั่ง VHF และ UHF ดังรูปที่ 4.22 โดยมีจุดประสงค์คือ สายอากาศในฝั่ง VHF เป็นสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับข้อมูลมาจากสถานีภาคพื้นดิน และสายอากาศในฝั่ง UHF เป็นสายอากาศที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลลงมาสู่สถานีภาคพื้นดิน ดังรูปที่ 4.23 ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองกระบวนการส่งดังกล่าว โดยจะให้วิทยุสื่อสาร Walkie Talkie ที่ฝั่งปลายรันเวย์ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ส่งไปหา วิทยุสื่อสาร Walkie Talkie ที่ต่อเข้ากับสายอากาศฝั่ง VHF และทำการส่งข้อมูลจากโมดูล UHF ที่ต่อเข้ากับฝั่งตึก 12 ชั้น ดังรูปที่ 4.24 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ไปสู่ โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ดังรูปที่ 4.25 โดยทำการทดสอบตามลำดับขั้นตอน และทั้งรับ-ส่งไปพร้อม ๆ กัน ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับได้ ในฝั่ง VHF และ UHF ดังรูปที่ 4.26 ผลปรากฏว่าสายอากาศไม่มีการกวนกันในการรับ-ส่งข้อมูลกัน สายอากาศ VHF สามารถรับข้อมูลเสียงได้ และสายอากาศ UHF สามารถส่งข้อมูลข้อความได้ถูกต้องกันทั้งคู่



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 144.39 MHz ด้วย SDR sharp



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 144.39 MHz ด้วย Spectrum analyzer



รูปที่ 4.18 การต่อสายอากาศ VHF เข้ากับวิทยุสื่อสาร Walkie Talkie
ตรงที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์

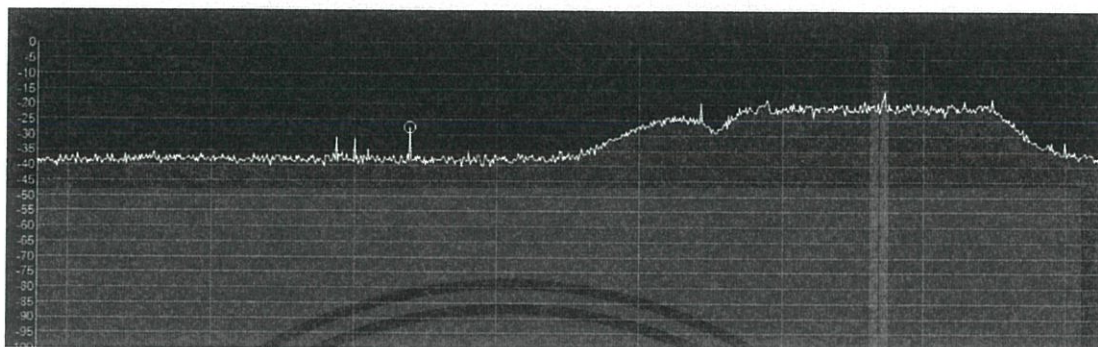
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



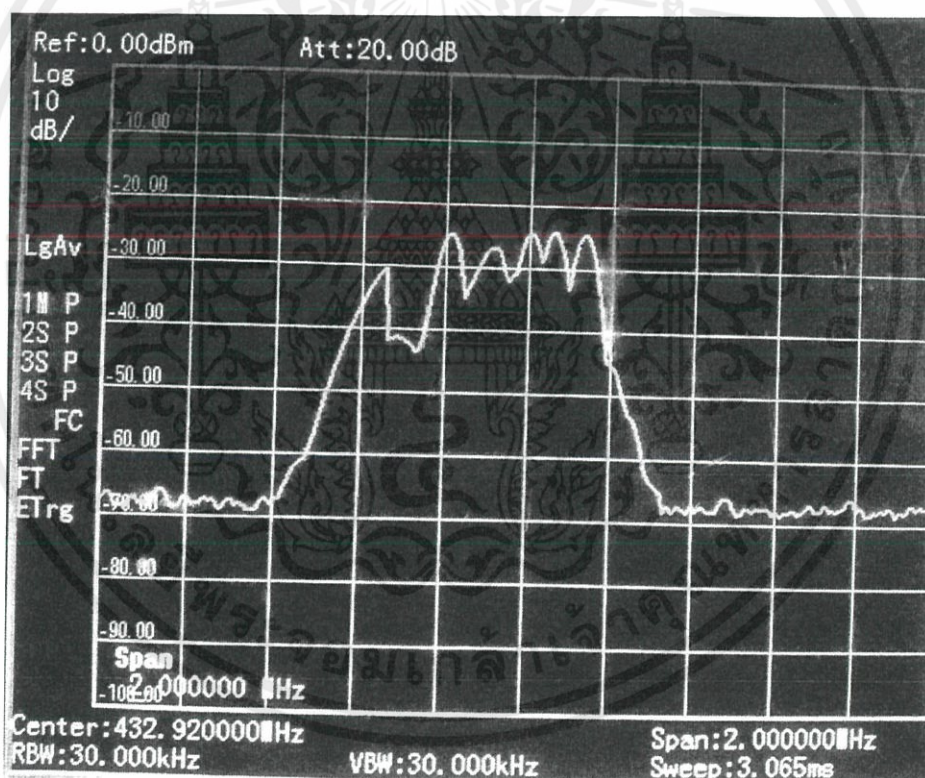
รูปที่ 4.19 ระยะห่างระหว่างตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบังถึงบริเวณปลายรันเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
 รวมระยะทางทั้งหมด 8.76 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

000.432.920.000 ↗



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 432.92 MHz ด้วย SDR sharp

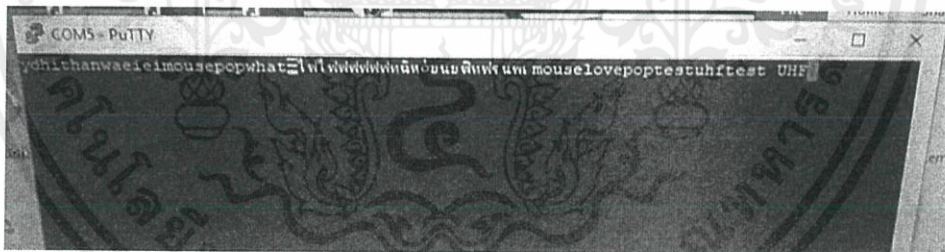


รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 432.92 MHz ด้วย Spectrum analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

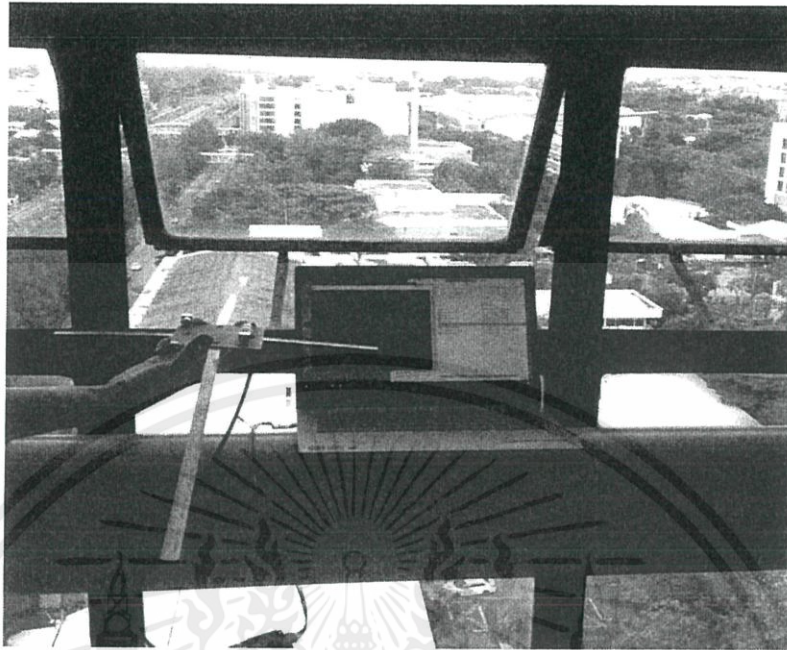


รูปที่ 4.22 การทดสอบการรับ-ส่ง สัญญาณของสายอากาศทั้งฝั่ง VHF และ UHF

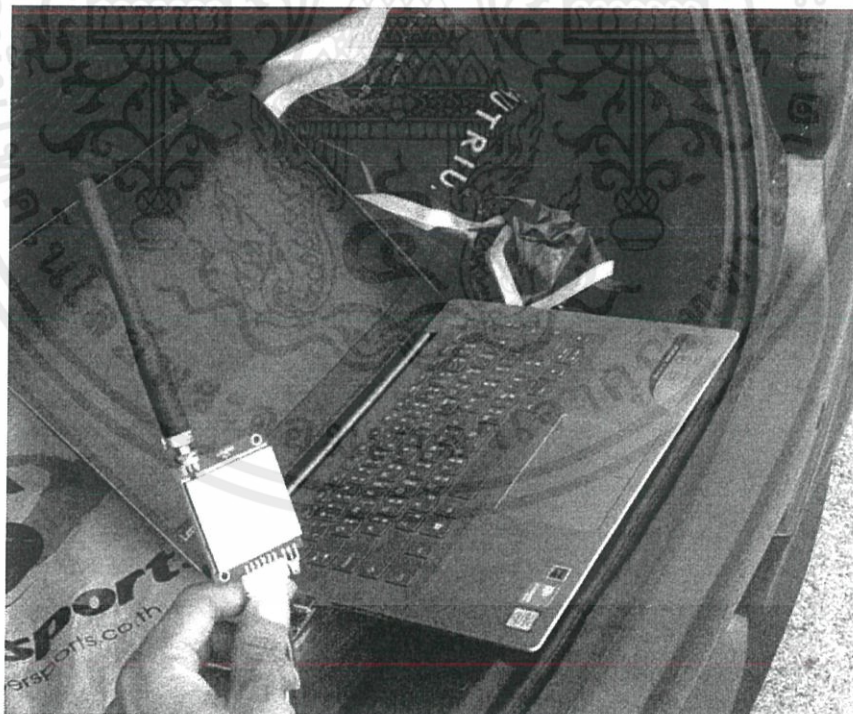


รูปที่ 4.23 หน้าจอ Command ของ โมดูล UHF ที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

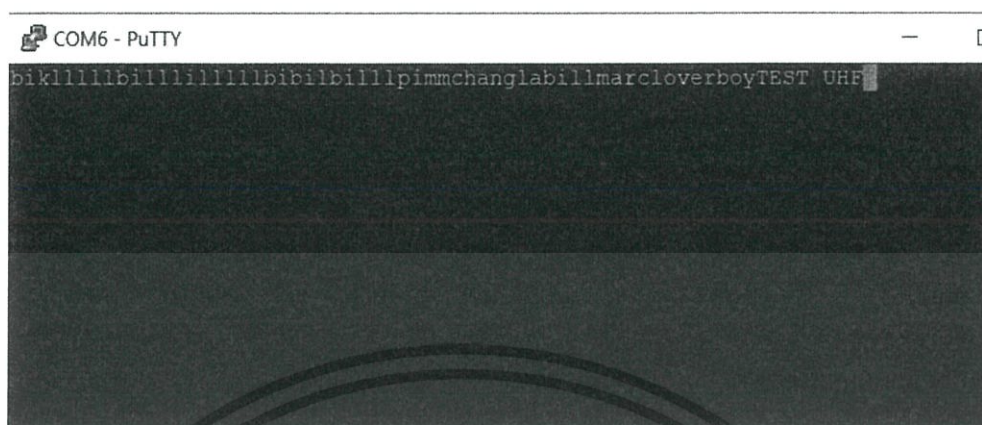


รูปที่ 4.24 โมดูล UHF ต่อเข้ากับสายอากาศฝั่ง UHF ตรงที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์



รูปที่ 4.25 โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 หน้าจอ Command ของ โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

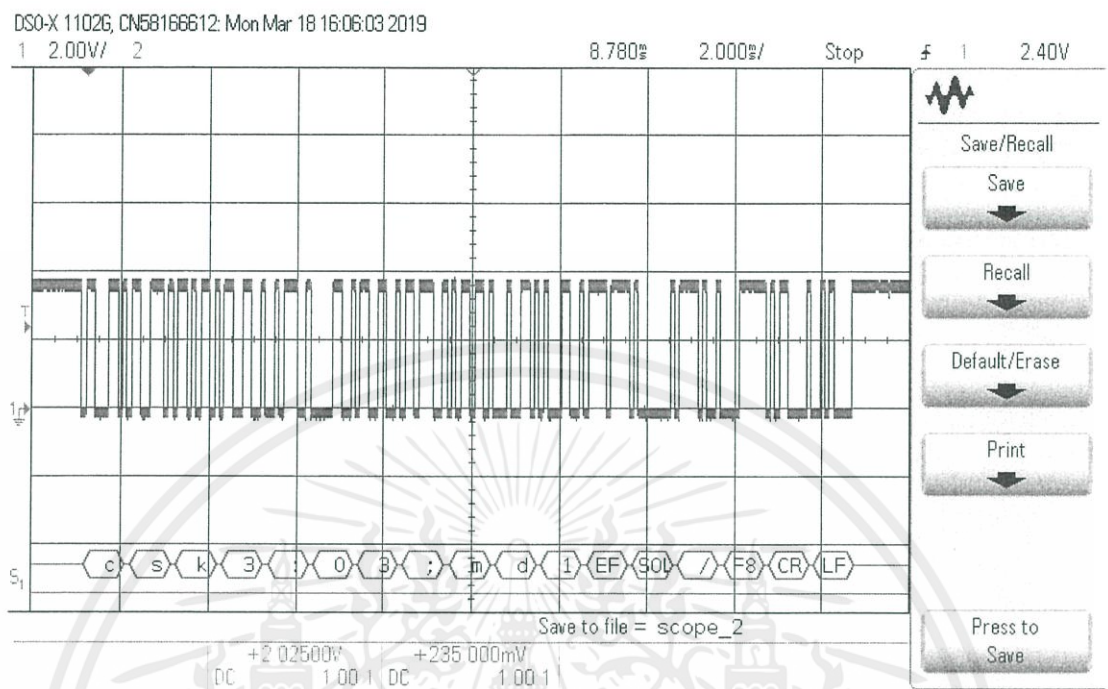
จากนั้นจึงได้ทำการทดสอบเปลี่ยนกระบวนการรับส่งข้อมูล จากเดิมสายอากาศในฝั่ง VHF เป็นสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับข้อมูลมาจากสถานีภาคพื้น และสายอากาศในฝั่ง UHF เป็นสายอากาศที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลลงสู่สถานีภาคพื้นดิน เปลี่ยนเป็นสายอากาศในฝั่ง UHF เป็นสายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับข้อมูลมาจากสถานีภาคพื้น และสายอากาศในฝั่ง VHF เป็นสายอากาศที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลลงสู่สถานีภาคพื้นดิน ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองกระบวนการส่งดังกล่าว โดยให้วิทยุสื่อสาร Walkie Talkie ที่ฝั่งปลายรันเวย์ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ รับข้อมูลวิทยุสื่อสาร Walkie Talkie ที่ต่อเข้ากับสายอากาศฝั่ง VHF และทำการรับข้อมูลจาก โมดูล UHF ที่ต่อเข้ากับตรงที่ฝั่งตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ จาก โมดูล UHF ที่ฝั่งปลายรันเวย์ ได้ผลปรากฏว่า ข้อมูลที่รับ-ส่ง ไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน

4.3 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายอากาศร่วมกับโมดูล

ทำการทดสอบส่งข้อมูลในย่านความถี่ UHF คือ ข้อมูลรูปแบบ MIDI และผลการทดลองรับข้อมูลรูปแบบ Text ในย่านความถี่ VHF ดังนี้

4.3.1 ผลทดลองการรับ-ส่งไฟล์ MIDI ด้วยสายอากาศ UHF และ VHF

ทำการทดลองใช้สายอากาศร่วมกับโมดูล LoRa6100AES ในการส่งข้อมูลและ SA818 ในการรับ Packet คำสั่งข้อมูล ดังรูปที่ 4.27 ในการสั่งให้ส่งข้อมูล MIDI แล้วรับข้อมูลด้วยสายอากาศที่จัดทำไว้และนำข้อมูลที่ได้นำเข้าสู่กระบวนการแสดงผล รวมเป็นไฟล์รูปแบบ MIDI ดังรูปที่ 4.28 พบว่าสามารถรับข้อมูลรวมเป็นไฟล์ MIDI และทำการเปิดไฟล์ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.27 สัญญาณแสดงชุดคำสั่งที่ใช้ในการส่ง

```

SOM5
csk3:03;md1[]p
++++ CRC32 Check ++++
CRC32 with packets : EF012FF8
TEST PASSED
+++++ Command controls +++++
MIDI song 1

```

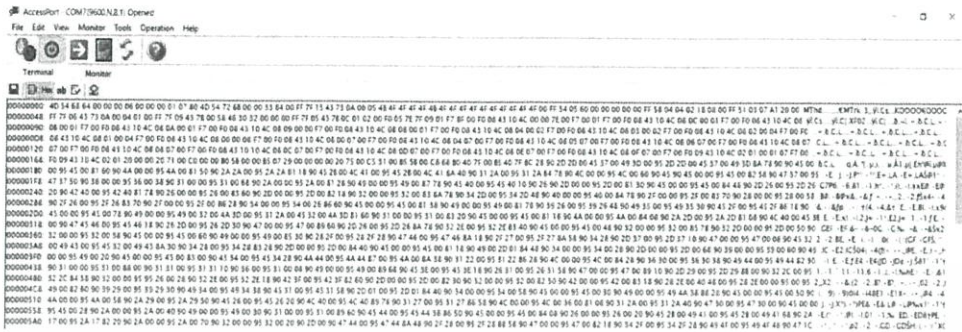
รูปที่ 4.28 Serial monitor แสดงข้อมูลการตรวจสอบ CRC-32 ที่เป็นชุดคำสั่งส่ง MIDI

ต่อมาจะเป็นกระบวนการรับข้อมูลจะมีกระบวนการตรวจสอบ Header part ของ Packet แล้วจึงจะทำการตรวจสอบ CRC-32 เมื่อตรวจสอบ CRC-32 ตรวจสอบข้อมูลได้ถูกต้อง เมื่อตรวจสอบ CRC-32 ถูกต้อง แล้วจึงจะทำการส่งไฟล์ MIDI ในย่านความถี่ UHF โดยการ LoRa modulation ดังรูปที่ 4.29 ทำการอ่านลำดับ Sequence part และทำการจัดเรียงข้อมูลจนสำเร็จ รวมเป็นไฟล์ MIDI ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมการส่งข้อมูลรูปแบบ MIDI ในย่านความถี่ UHF

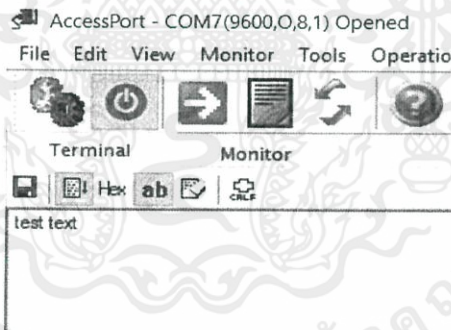
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



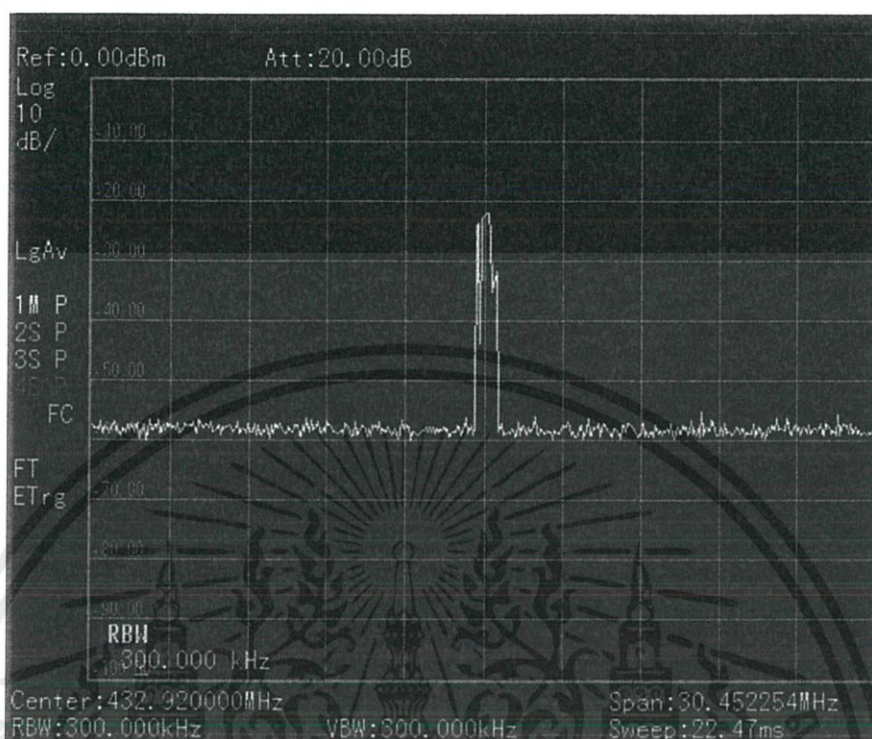
รูปที่ 4.30 ข้อมูลรูปแบบ MIDI ที่รับได้

4.3.2 ผลทดลองการส่งข้อมูลรูปแบบข้อความด้วยสายอากาศ UHF

ทำการทดลองใช้สายอากาศร่วมกับโมดูล LoRa6100AES ในการส่งข้อมูลรูปแบบ Text แล้วรับข้อมูลด้วยสายอากาศที่รับช่วงความถี่ที่ส่งได้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้แสดงผลและนำข้อมูลที่รับได้รวมเป็นไฟล์รูปแบบ Text พบว่าสามารถรับข้อมูลได้ไม่ผิดพลาด ดังรูปที่ 4.31 มีสเปกตรัมดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.31 Serial monitor แสดงข้อมูลรูปแบบ Text ที่รับได้



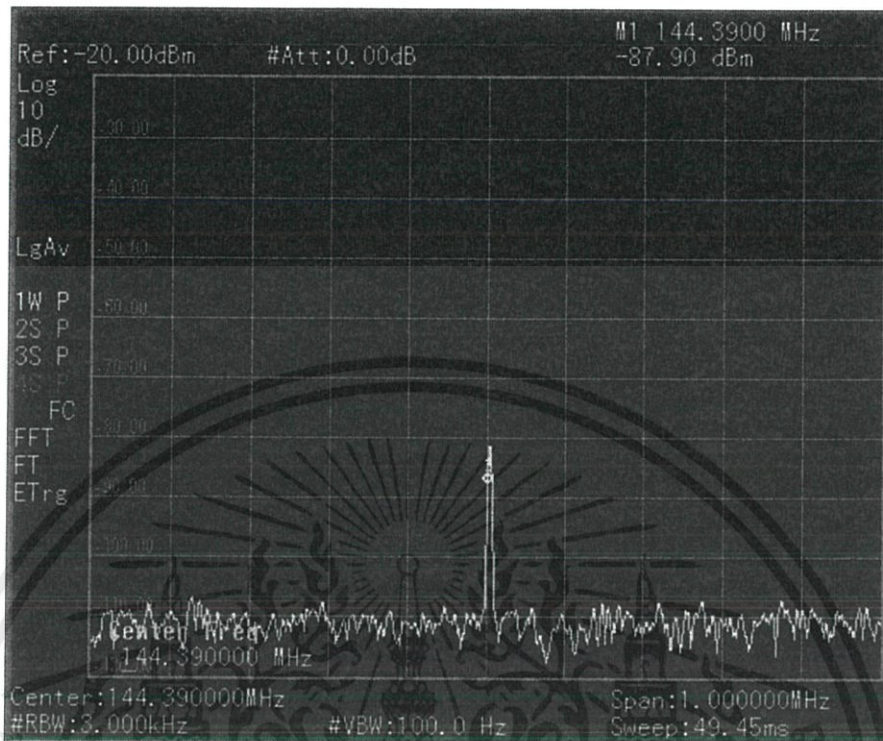
รูปที่ 4.32 สเปกตรัมของสัญญาณข้อมูลรูปแบบ Text รับได้

4.3.3 ผลทดลองการรับข้อมูลรูปแบบข้อความด้วยสายอากาศ VHF

ทำการทดลองใช้สายอากาศร่วมกับโมดูล SA818-VHF และ TNC modem ในการส่งข้อมูลรูปแบบ Text แล้วรับข้อมูลด้วยสายอากาศที่รับช่วงความถี่ที่ส่งได้ นำข้อมูลที่ได้มาทำการ demodulation ซึ่งได้ผล ดังรูปที่ 4.33 และสเปกตรัมดังรูปที่ 4.34

```
11:35:00$ fm NOCALL-0 to APZMDM-0 via WIDE1-1,WIDE2-2 UI PID=F0
<data>Test VHF Test VHF
```

รูปที่ 4.33 Serial monitor แสดงข้อมูลที่รับได้หลังผ่านการ Demodulation แล้ว



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมแสดงข้อมูล Text ส่งไป

4.4 ผลการตรวจสอบ CRC-32 ของระบบสื่อสาร

ผลการทดสอบของการตรวจสอบ CRC-32 นั้นจะทำการทดสอบด้วยการส่งข้อมูลที่มีส่วน CRC-32 ที่ถูกต้องเข้าสู่ระบบ ซึ่งจะสามารถทำการรับข้อมูล นำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งทดสอบชุด Packet 3 ชุด คือ csk3:13;cyHello World, csk3:01;a และ csk3:03;md1 ดังรูปที่ 4.35, 4.36 และ 4.37 และทำการอ่านค่าข้อมูลประเภท Serial จาก Oscilloscope ดังรูปที่ 4.38, 4.39 และ 4.40

```

COM7
csk3:13;cyHello World
Ready packets : csk3:13;cyHello World$>K

```

รูปที่ 4.35 Serial monitor แสดง CRC32 ของ csk3:13;cyHello World

```

COM7
csk3:01;a
Ready packets : csk3:01;a๕๕C

```

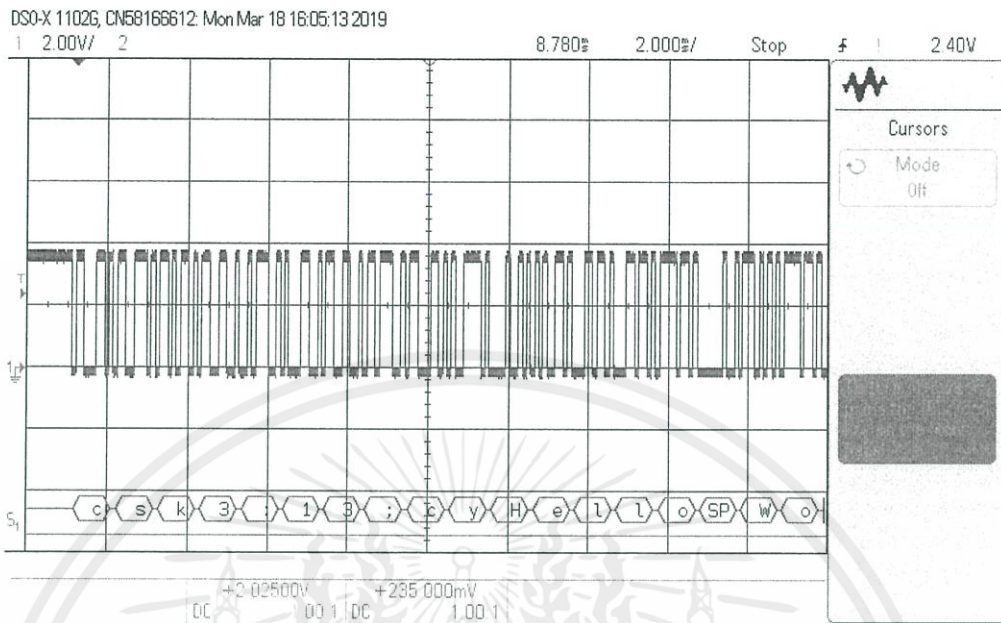
รูปที่ 4.36 Serial monitor แสดง CRC-32 ของ csk3:01;a

```

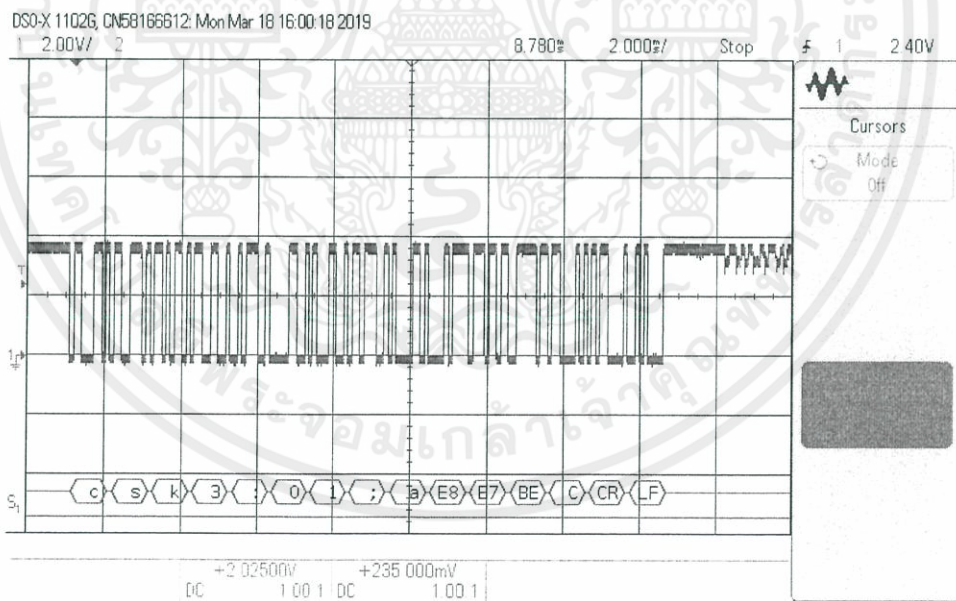
COM7
csk3:03;md1
Ready packets : csk3:03;md1๕๕/๕

```

รูปที่ 4.37 Serial monitor แสดง CRC-32 ของ csk3:03;md1

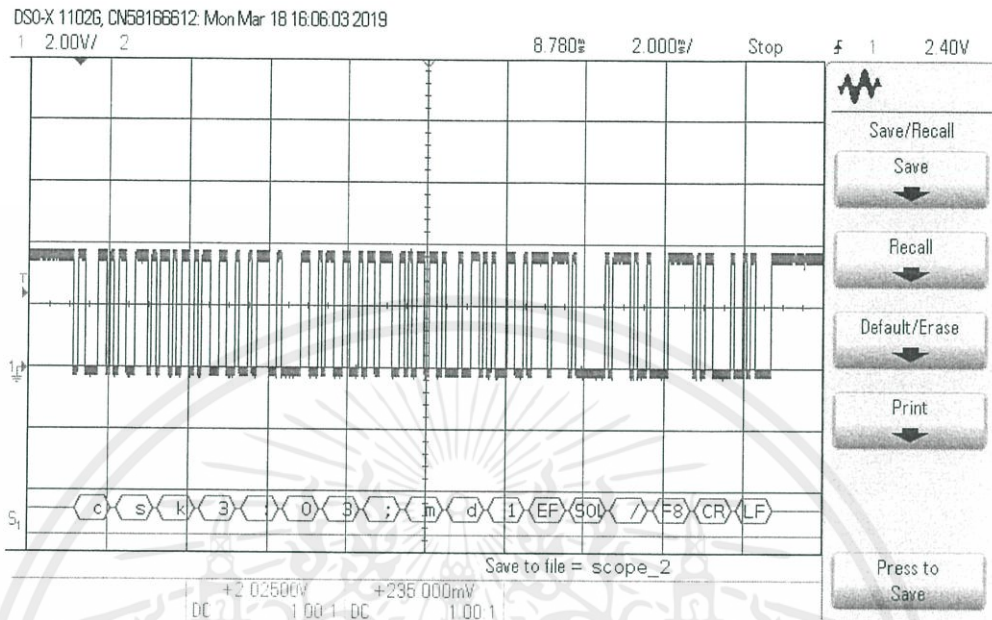


รูปที่ 4.38 สัญญาณแสดงการส่ง csk3:13;cyHello World\$>Kí



รูปที่ 4.39 สัญญาณแสดงการส่ง csk3:01;aè¾C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 สัญญาณแสดงการส่ง csk3:03;md1i /ø

จากผลแสดงสัญญาณพบว่า เมื่อทำการแปลงข้อมูลบิตเป็นรูปแบบ ASCII จะเห็นได้ว่า csk3:13;cyHello World มีค่า CRC-32 = \$>Kí , csk3:01;a มีค่า CRC-32 = è-¾C และ csk3:03;md1 มีค่า i /ø จากนั้นได้นำ Packet ที่มี CRC-32 ดังกล่าว เข้าสู่ระบบสื่อสาร ดังรูปที่ 4.41, 4.42 และ 4.43

```

COM7
csk3:13;cyHello World$>Kí
++++ CRC32 Check ++++
CRS32 with packets : 243E4BCD
TEST PASSED
+++++ Command controls +++++
Encryption : Hello World

```

รูปที่ 4.41 Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:13;cyHello World\$>Kí

```

COM7
csk3:01;aè·¾C

++++ CRC32 Check ++++
CRS32 with packets : E8B7BE43
TEST PASSED
+++++ Command controls +++++
Status CUBESAT3

```

รูปที่ 4.42 Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:01;aè·¾C

```

COM7
csk3:03;md1i□/ø

++++ CRC32 Check ++++
CRS32 with packets : EF012FF8
TEST PASSED
+++++ Command controls +++++
MIDI song 1

```

รูปที่ 4.43 Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ csk3:03;md1i /ø

ต่อมาทำการทดสอบนำ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ผิดพลาดเข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 4.44 และทำการทดสอบนำ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ถูกต้อง แต่ข้อมูลที่ส่งผิดพลาดเข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 4.45 พบว่าจะการทำ CRC-32 ในขั้นตอนในการส่ง และการตรวจสอบ CRC-32 ในขั้นตอนในการรับ สามารถตรวจสอบ CRC-32 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

```

COM7
csk3:13;cyHello World$>KA
++++ CRC32 Check ++++
CRS32 with packets : 243E4B41
TEST FAILED

```

รูปที่ 4.44 Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ผิดพลาด

```

COM7
csk3:13;cyHello WorlBs>Kf
++++ CRC32 Check ++++
CRS32 with packets : 243E4BCD
TEST FAILED

```

รูปที่ 4.45 Serial monitor แสดงการตรวจสอบ CRC-32 ของ Packet ที่มีค่า CRC-32 ที่ถูกต้องแต่ข้อมูลที่ส่งผิดพลาด

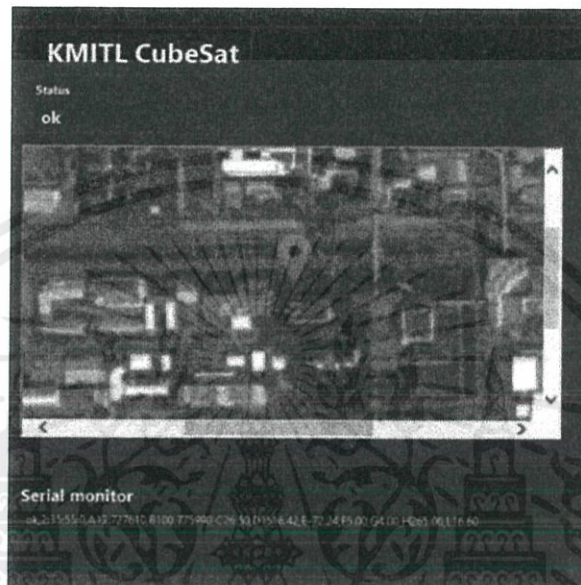
4.5 ผลการทดสอบเซนเซอร์ของแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวิบ์แซท EM-3

ผลการทดสอบของเซนเซอร์บนแบบจำลองทางวิศวกรรมดาวเทียมคิวิบ์แซท EM-3 ที่ประกอบด้วยโมดูล GPS NEO-6M Ublox

4.5.1 การทดสอบการทำงานของโมดูล GPS NEO-6M Ublox

ทดสอบการทำงานของโมดูล GPS โดยการเทียบตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (ละติจูด, ลองจิจูด) กับโมดูล GPS ในอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของโมดูล GPS ที่ใช้บนแบบจำลองดาวเทียมคิวิบ์แซท ดังรูปที่ 4.46 อ่านค่าได้ ละติจูดที่ 13.727577 ลองจิจูด

ที่ 100.775985 และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของโมดูล GPS ในอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ดังรูปที่ 4.47 อ่านค่าได้ละติจูดที่ 13.7275772 ลองจิจูดที่ 100.7759907 ซึ่งมีระยะทางต่างกัน 0.616 m



รูปที่ 4.46 การทดสอบการทำงานของโมดูล GPS NEO-6M Ublox



รูปที่ 4.47 ตำแหน่งพิกัดจาก Google map

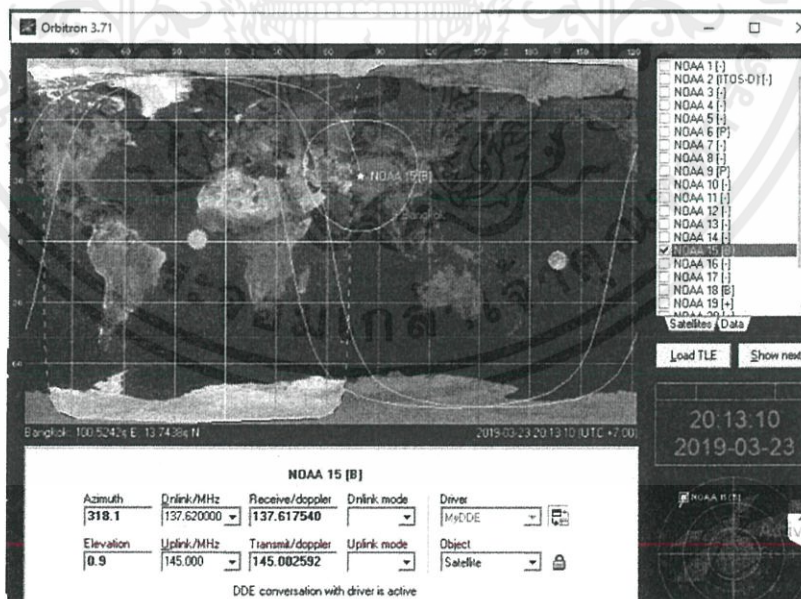
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดสอบสถานีภาคพื้นดิน

ในการทดสอบสถานีภาคพื้นดินจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ และสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

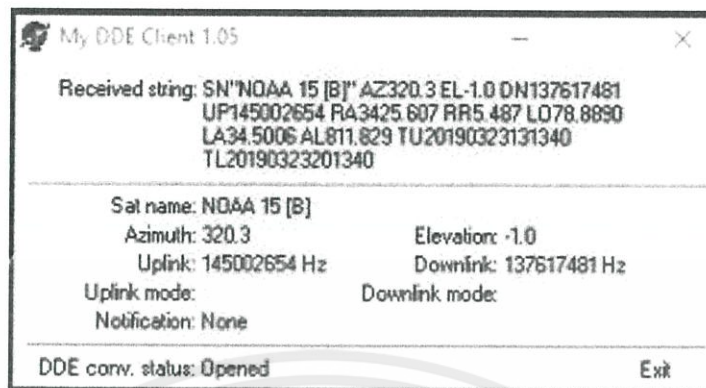
4.6.1 การทดสอบการทำงานของสถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่

เนื่องจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท ยังไม่สามารถนำเข้าสู่วงโคจรนอกโลกได้ จึงทำการทดสอบการติดตามกับดาวเทียม NOAA15 ที่ความถี่กลาง 137.62 MHz ดาวเทียม NOAA15 นั้นจะมีการกระจายสัญญาณภาพถ่ายที่ตำแหน่งดาวเทียม NOAA15 โคจรอยู่ ในการทดสอบจะทำการทดสอบการทำงานร่วมกันของโปรแกรม Orbitron ที่เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและทำนายวงโคจรของดาวเทียม โปรแกรม Pstrotator ที่เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมมุม Azimuth และ Elevation ของสายอากาศที่ติดตั้งด้วยชุด Rotator G-5500 และโปรแกรม MyDDE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำการนำข้อมูลจากโปรแกรม Orbitron เข้าสู่โปรแกรม Pstrotator โดยการคำนวณหาวงโคจรของดาวเทียม NOAA15 ด้วยโปรแกรม Orbitron ดังรูปที่ 4.48 และทำการดึงข้อมูลในโปรแกรม Orbitron ด้วยโปรแกรม MyDDE ดังรูปที่ 4.49 จากนั้นโปรแกรม Pstrotator จะรับข้อมูลจากโปรแกรม MyDDE ปรับมุม Azimuth และ Elevation ดังรูปที่ 4.50

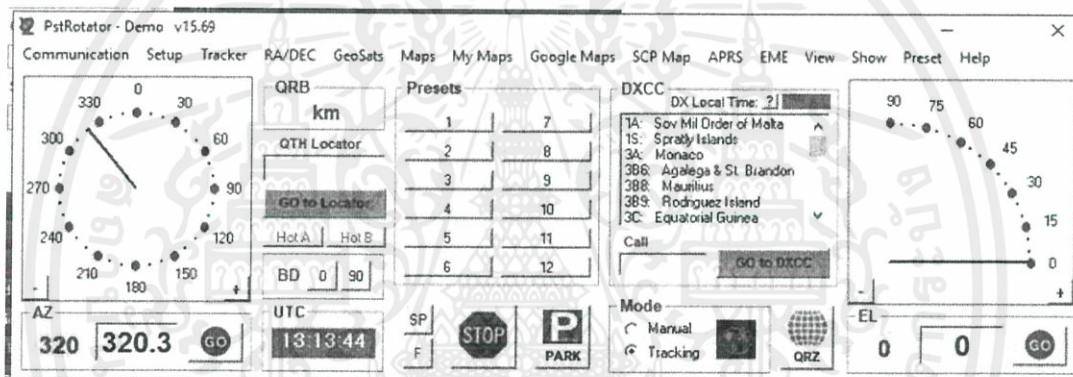


รูปที่ 4.48 ตำแหน่งของดาวเทียม NOAA15 ในโปรแกรม Orbitron

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

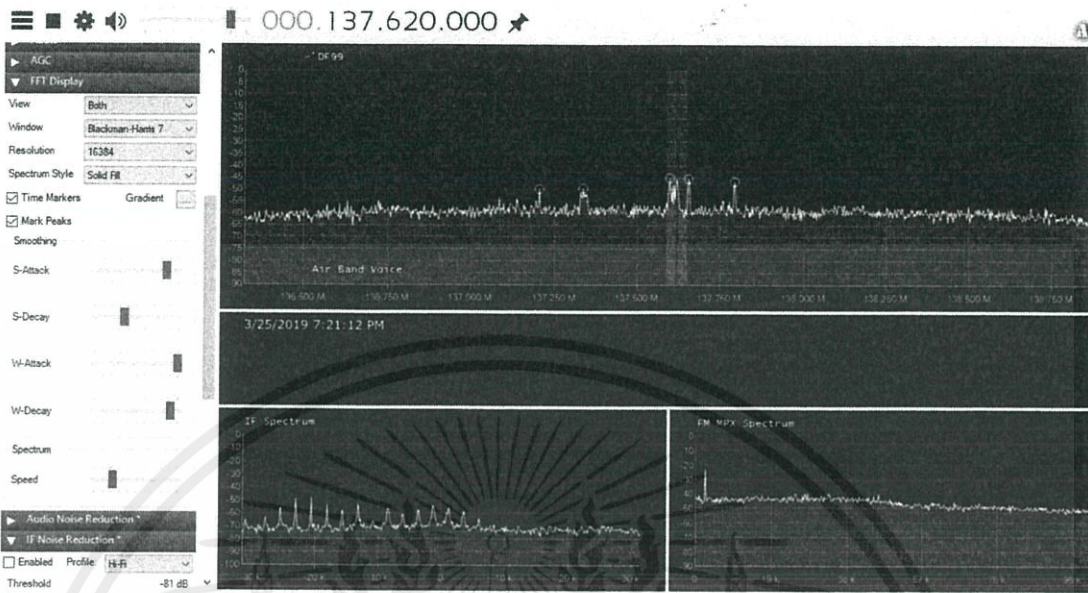


รูปที่ 4.49 ข้อมูลที่ทำการส่งจากโปรแกรม Orbitron เข้าสู่โปรแกรม Pstrotator



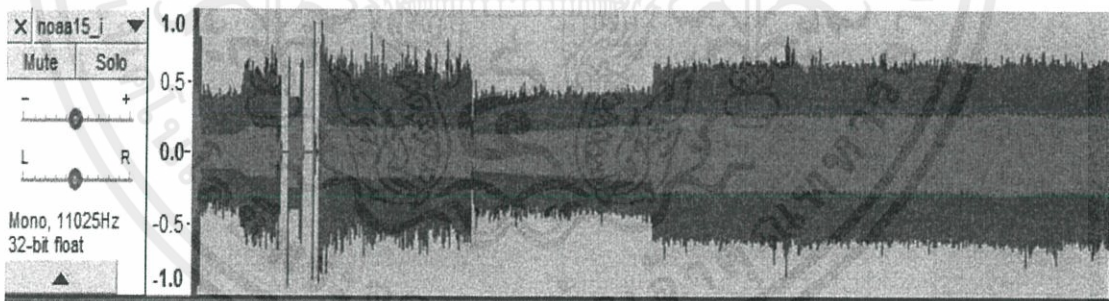
รูปที่ 4.50 โปรแกรม Orbitron ปรับมุม Azimuth และมุม Elevation

เพื่อตรวจสอบว่าชุดติดตามดาวเทียมนั้น สามารถติดตามดาวเทียม NOAA15 ด้วยการรับสัญญาณในความถี่ที่ดาวเทียม NOAA15 ทำการกระจายสัญญาณโดยใช้โปรแกรม SDRsharp ในการวัดค่าสเปกตรัมที่รับได้ ดังรูปที่ 4.51

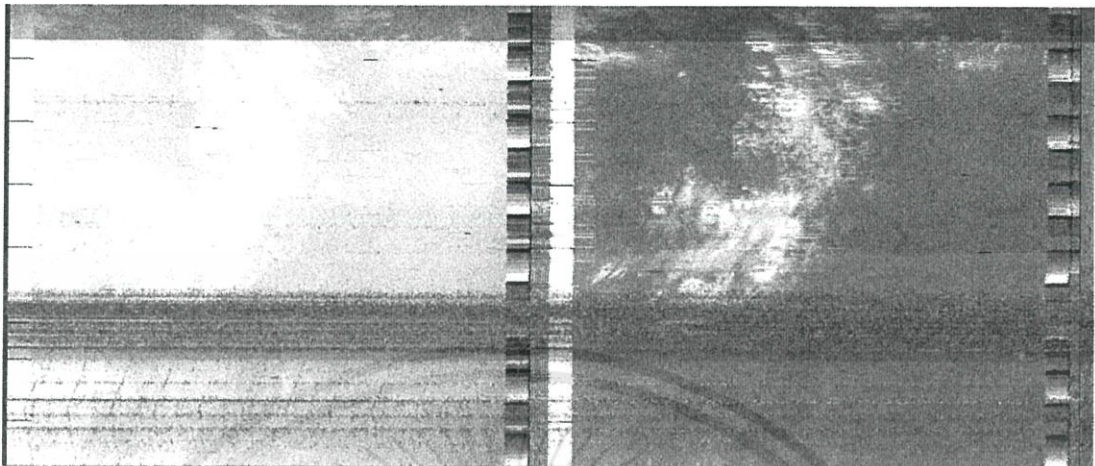


รูปที่ 4.51 โปรแกรม SDRsharp แสดงสเปกตรัมของดาวเทียม NOAA15 ที่รับได้

ต่อมานำข้อมูลที่รับได้ที่เป็นข้อมูลเสียง ดังรูปที่ 4.52 ทำการถอดรหัส ข้อมูลเป็นรูปภาพ ดังรูปที่ 4.53

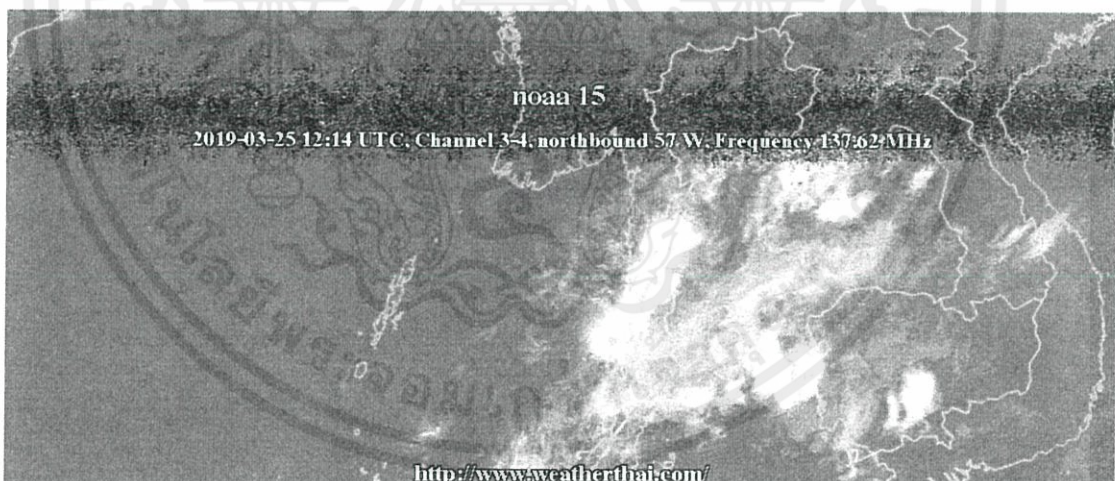


รูปที่ 4.52 ข้อมูลจากดาวเทียม NOAA15 รูปแบบเสียง



รูปที่ 4.53 ข้อมูลจากดาวเทียม NOAA15 รูปแบบภาพ

นำข้อมูลรูปแบบจากดาวเทียม NOAA15 ที่มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล (<http://weatherthai.com/noaa/index.php>) ดังรูปที่ 4.54 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับได้ วันที่ได้ทำการทดลอง คือ 25 มีนาคม 2562

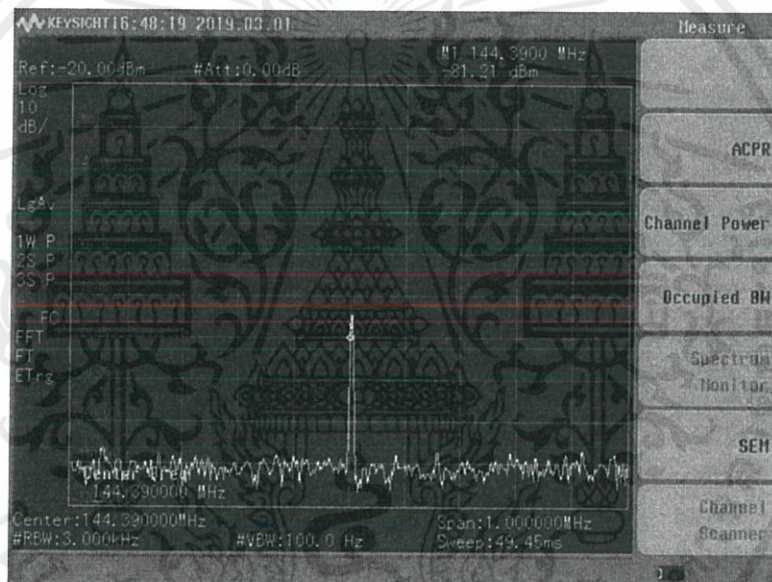


รูปที่ 4.54 รูปจากฐานข้อมูลดาวเทียม NOAA15
(<http://weatherthai.com/noaa/index.php>)

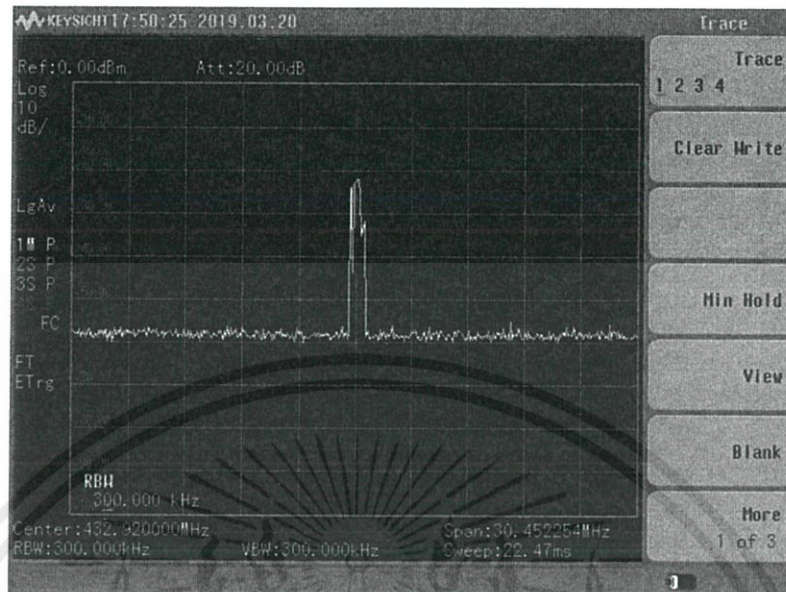
จากการทดลองการรับข้อมูลดาวเทียม NOAA15 นั้น พบว่าชุดติดตามดาวเทียมบน สถานีภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่นั้น สามารถรับข้อมูลจากดาวเทียม NOAA15 ได้จากรูปที่ 4.53 โดย ดาวเทียม NOAA15 นั้นอยู่ในระดับวงโคจรชั้น Low Earth Orbit (LEO) ที่เป็นระดับวงโคจรชั้น เดียวกันกับดาวเทียมคิวบ์แซทดังนั้นการทำงานของชุดติดตามดาวเทียมนี้สามารถนำไปเป็นแนวทาง ในการติดตามดาวเทียมคิวบ์แซทได้

4.6.2 การทดสอบการทำงานของสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

ทดสอบการรับสัญญาณในย่านความถี่ VHF ที่ 144.39 MHz ได้สเปกตรัม ดังรูปที่ 4.55 และ ย่านความถี่ UHF ที่ 432.92 MHz ได้สเปกตรัม ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.55 สเปกตรัมแสดงการรับสัญญาณความถี่ที่ 144.39 MHz ด้วยสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้



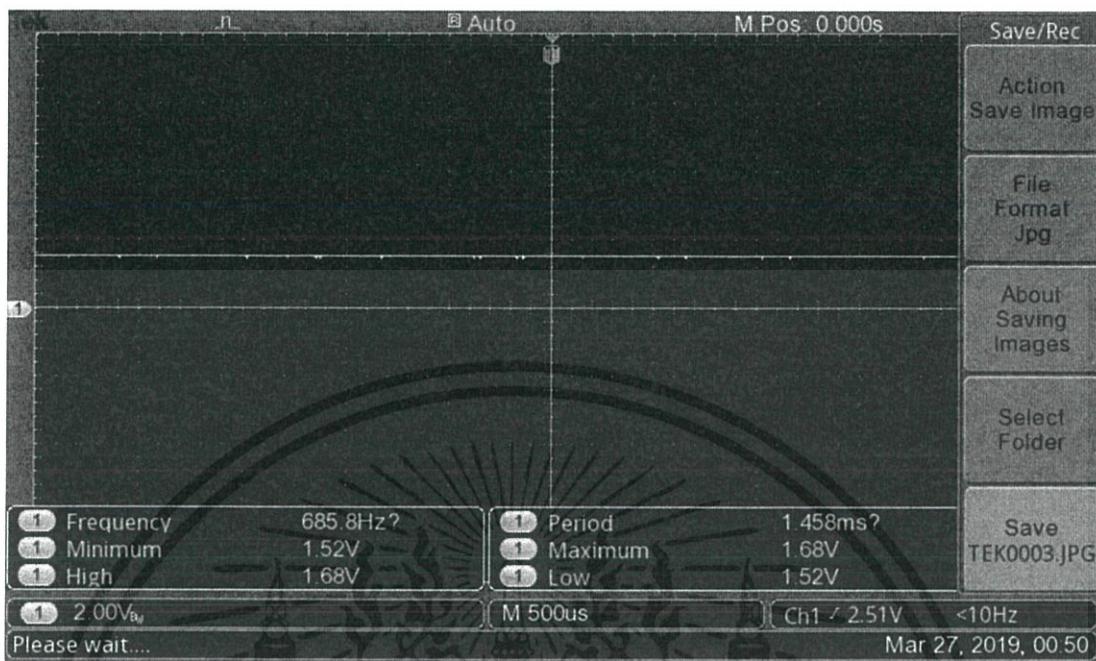
รูปที่ 4.56 สเปกตรัมแสดงการรับสัญญาณความถี่ที่ 432.92 MHz
ด้วยสถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ได้

4.7 ผลการทดสอบ Deployment ของสายอากาศ

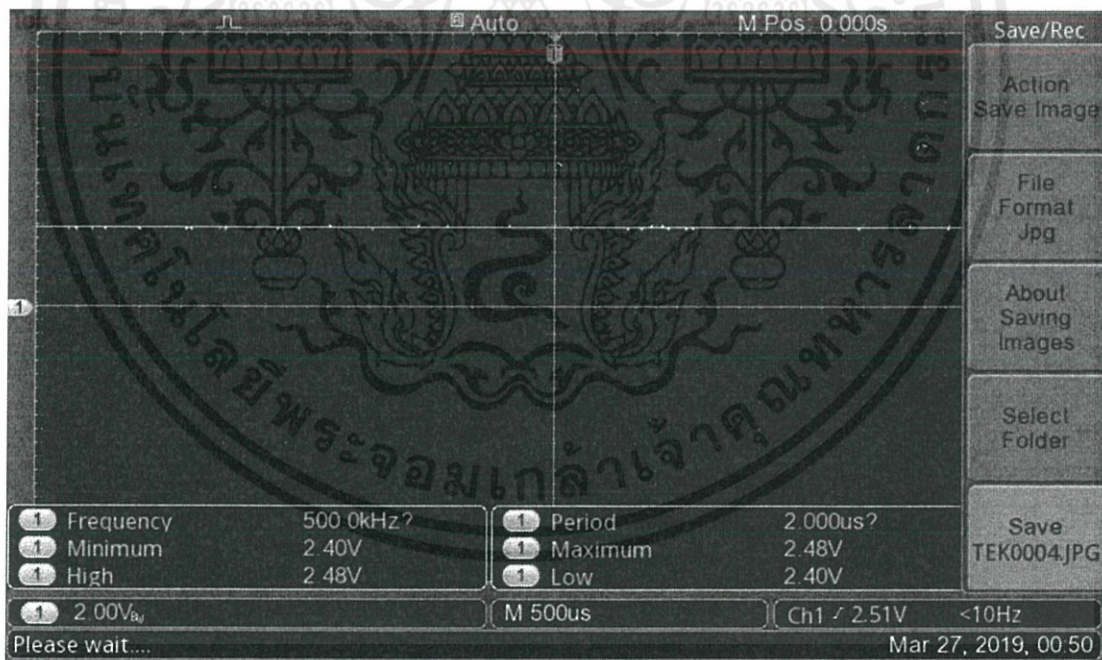
การทดสอบในส่วนนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบวงจร Deployment ของสายอากาศ และการทดสอบระบบการ Deployment ของสายอากาศ

4.7.1 การทดสอบวงจร Deployment ของสายอากาศ

เนื่องจากวงจร Deployment ของสายอากาศนั้น จะใช้ทรานซิสเตอร์ TIP120 ที่ออกแบบให้ทำงานเหมือนสวิตช์ ที่เปิด-ปิดที่ให้ความร้อนกับลวดนิโครมให้มีความร้อนมากพอที่จะตัดเชือกที่ทำการเก็บสายอากาศได้โพลั่ว ทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่ Base pin ของ TIP120 ได้ 1.52 V ดังรูปที่ 4.57 และทำการวัดค่าความต่างศักย์ที่ Collector pin ของ TIP120 ได้ค่าดังรูปที่ 4.58 พบว่าที่ Collector pin ให้ค่าความต่างศักย์ 2.48 V สามารถทำให้ลวดนิโครมมีความร้อนมากพอที่จะเผาเชือกที่ทำการเก็บสายอากาศไว้ จึงได้นำวงจรนี้ไปทดสอบกับระบบ Deployment ของสายอากาศจริง



รูปที่ 4.57 สัญญาณแสดงค่าความต่างศักย์ที่ Base pin ของ TIP120

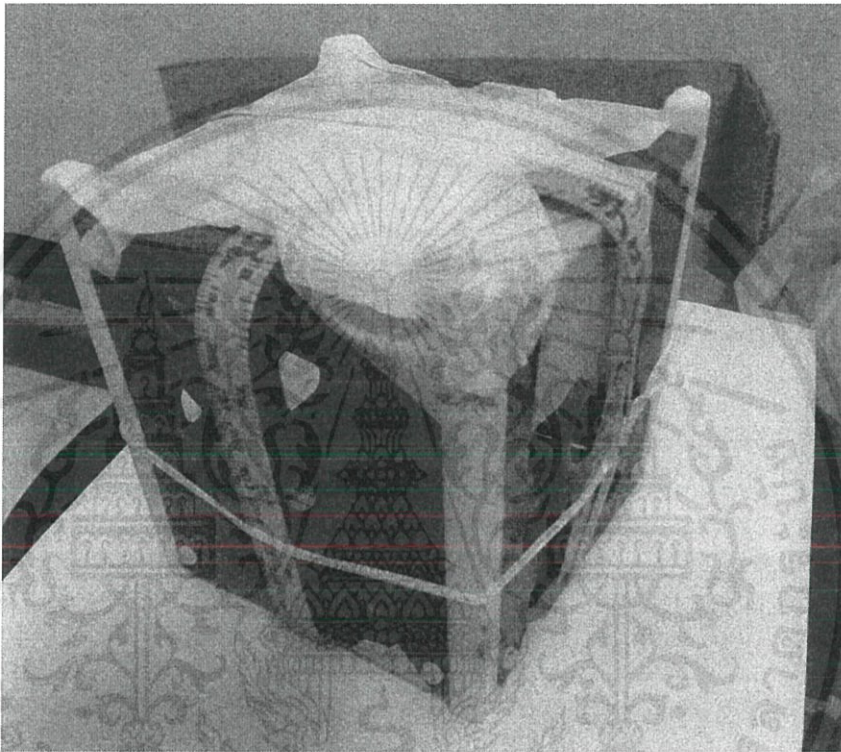


รูปที่ 4.58 สัญญาณแสดงค่าความต่างศักย์ที่ Collector pin ของ TIP120

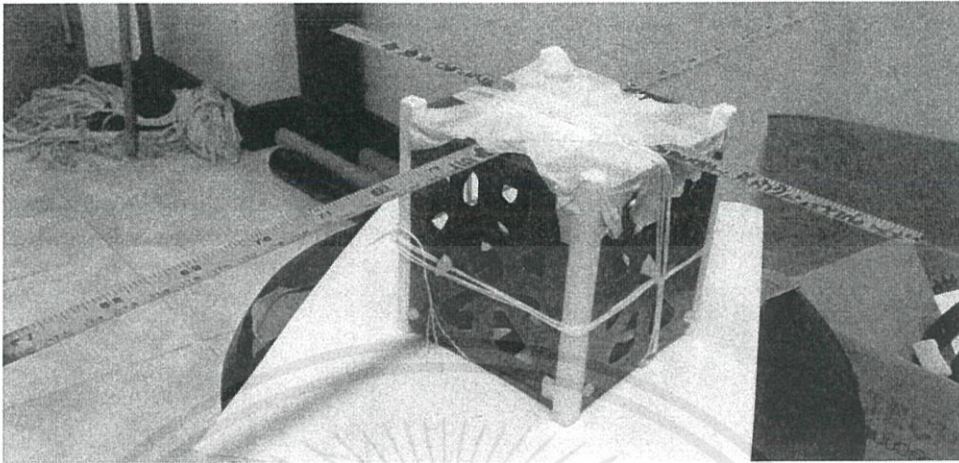
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 การทดสอบระบบ Deployment ของสายอากาศ

การทดสอบนั้นเป็นการนำวงจร Deployment ของสายอากาศนั้นมาทดลองติดตั้งกับตัวโครงแบบจำลองดาวเทียมคิวิร์แซท ดังรูปที่ 4.59 เป็นรูปแบบจำลองดาวเทียมคิวิร์แซทที่ทำการเก็บสายอากาศอยู่ และรูปที่ 4.60 เป็นรูปแบบจำลองดาวเทียมคิวิร์แซทที่ Deploy สายอากาศแล้ว

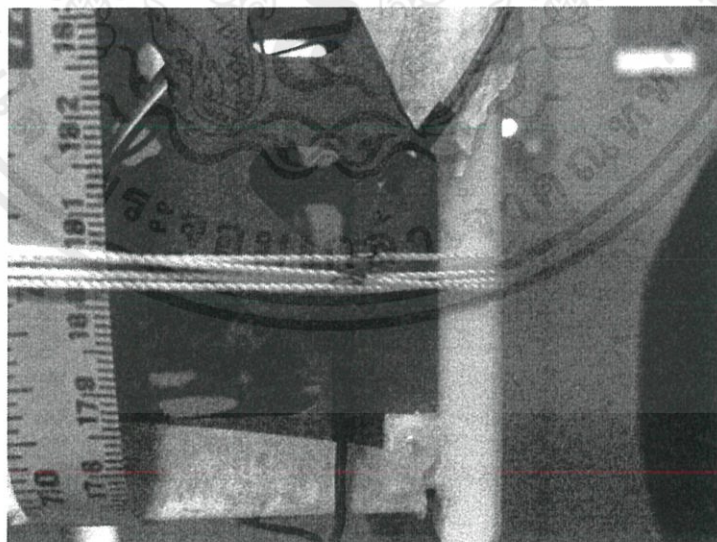


รูปที่ 4.59 แบบจำลองดาวเทียมคิวิร์แซทที่ทำการเก็บสายอากาศอยู่

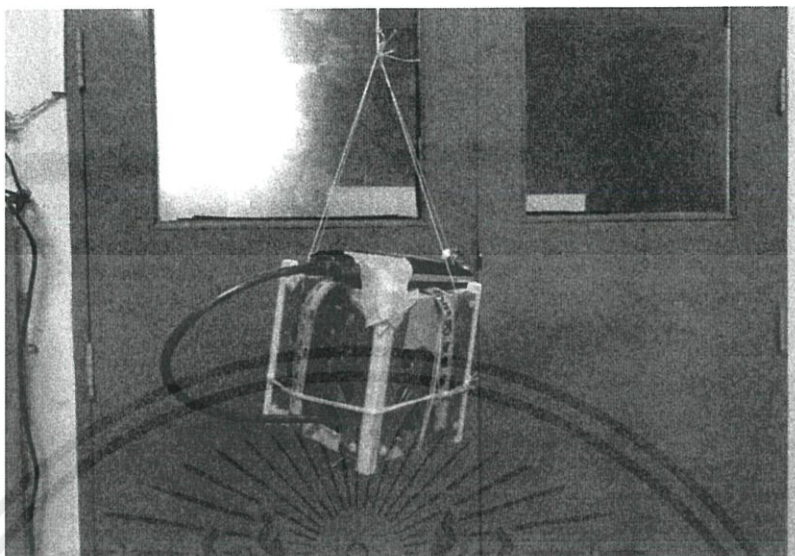


รูปที่ 4.60 แบบจำลองดาวเทียมคิวบแซทที่ Deploy สายอากาศแล้ว

ต่อมาทำการทดสอบการทำงานของระบบวงจรที่ออกแบบขึ้นมา โดยทำการ Pull Up เพื่อไบอัสทรานซิสเตอร์ TIP120 ที่ Base pin ก็ต่อเมื่อความสูงที่รับได้จาก GPS นั้นมีค่ามากกว่า ความสูงที่กำหนด หลังจากไบอัสที่ Base pin จะเสมือนการทำให้ Collector pin กับ Emitter pin เชื่อมต่อเป็นวงจรเดียวกัน เกิดค่าความต่างศักย์ที่ Collector pin จ่ายให้กับลวดนิโครม ทำการตัด เชือกที่ทำการเก็บสายอากาศไว้ ดังรูปที่ 4.61 ติดตั้งระบบ Deployment ของสายอากาศเข้ากับ โครงแบบจำลองดาวเทียมคิวบแซท ดังรูปที่ 4.62

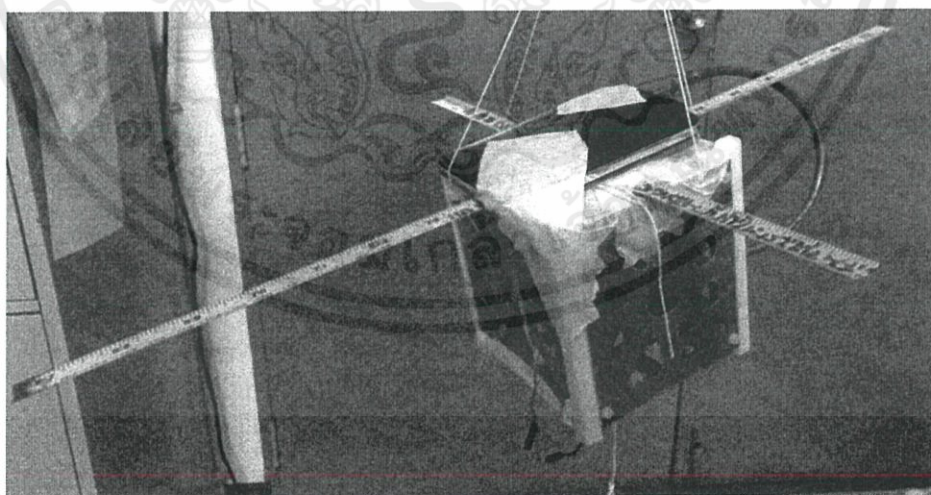


รูปที่ 4.61 ลวดนิโครมจะทำการตัดเชือกที่ทำการเก็บสายอากาศ



รูปที่ 4.62 ระบบ Deployment ของสายอากาศก่อนทำงาน

ต่อมาทดลองการด้วยการนำระบบDeployment ของสายอากาศที่ติดตั้งเข้ากับโครงแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซทแล้ว ไปยังความสูงที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดลองได้กำหนดความสูงไว้มากกว่า 10 m เพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบ และระบบ Deployment ของสายอากาศได้ดังรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 ระบบ Deployment ของสายอากาศหลังทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

ดาวเทียมคิวบ์แซทเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาและสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อสร้างดาวเทียมได้เองภายในประเทศโดยเฉพาะในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ โดยมีภารกิจได้หลากหลาย เช่น การถ่ายภาพ การสื่อสาร การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในอวกาศหรือการสำรวจอวกาศ เป็นต้น ซึ่งการสร้างดาวเทียมได้ด้วยตนเองสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับดาวเทียมจากต่างประเทศ การสร้างดาวเทียมคิวบ์แซทมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับดาวเทียมขนาดใหญ่ในด้านการใช้งบประมาณการสร้างที่ต่ำ และใช้เวลาในการสร้างที่ไม่ยาวนาน ดังนั้นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการออกแบบและแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ที่มีภารกิจหลัก 3 ภารกิจ คือ การถ่ายภาพเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านการสร้างดาวเทียม การรับส่งข้อมูลผ่านการเข้ารหัส และการรับส่งข้อมูลประเภท MIDI เพื่อเพิ่มความหลากหลายในภารกิจ โดยแบบจำลองทางวิศวกรรมนี้ถูกออกแบบและสร้างเพื่อทดสอบการส่งผ่านข้อมูลที่ความสูง 20 km ซึ่งประกอบด้วย MIDI ภาพถ่าย อุณหภูมิภายในคิวบ์แซท ความกดอากาศ ความเร่ง 3 แกน ระดับพลังงาน ตำแหน่งพิกัดของแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทมายังสถานีภาคพื้นดิน

อย่างไรก็ตามการสร้างดาวเทียมคิวบ์แซทจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหา จากการส่งผ่านข้อมูลจากดาวเทียมคิวบ์แซทไปยังสถานีภาคพื้นดินผ่านทางช่องสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อทำให้การรับส่งข้อมูลมี BER (Bit Rate Rate) สูงขึ้นอีกทั้งเมื่อดาวเทียมคิวบ์แซทโคจรอยู่ในอวกาศ จะเคลื่อนที่โดยอิสระ ทำให้ไม่สามารถเจาะจงทางทิศการส่งสัญญาณได้อย่างชัดเจนเป็นไปตามต้องการ ปริญญาานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาด้านความถูกต้องของการส่งผ่านข้อมูล โดยวิธีการแก้ไขปัญหาด้านความถูกต้องของการส่งผ่านข้อมูล เราเลือกใช้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพที่สูงมากขึ้น ใช้รูปแบบการ Modulation ที่มีประสิทธิภาพในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น อีกทั้งการเพิ่มกำลังการส่งข้อมูลเพื่อทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เมื่อการสื่อสารสามารถติดต่อได้ ข้อมูลที่รับส่งถูกต้อง การปฏิบัติการกิจของดาวเทียมทั้งระบบจะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นตาม และในส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างส่วนปฏิบัติภายในดาวเทียมคิวบ์

แพท มีการกำหนด รูปแบบ Packet ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร และมีการตรวจสอบความผิดพลาดของ Packet ที่ใช้ในการรับส่งด้วย CRC-32 อีกทั้งมีการจัดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลภายในดาวเทียมคิวบ์แซท เพื่อลดความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลระหว่างส่วนปฏิบัติการภายในดาวเทียมคิวบ์แซท

ดังนั้นปริญญาโทฉบับนี้จึงได้นำแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-1 และ EM-2 มาวิเคราะห์ปัญหา เป็นแนวทางการสร้างพัฒนา จึงออกแบบเป็นสายอากาศ ประเภทไดโพล ในย่านความถี่ VHF และ UHF เพื่อการสื่อสารแบบ Full-duplex กำหนด Path ในการส่งข้อมูลโดย Link budget เพื่อหาค่ากำลังในการส่งที่สามารถทำให้สื่อสารได้ และกระบวนการ นำข้อมูลแปลงไปเป็นรูปแบบ Packet ที่ใช้ในการสื่อสาร รวมถึงการจัดการในสถานีภาคพื้นดินที่แบบ เคลื่อนที่ได้ จัดทำหน้าต่างแสดงผลต่างๆของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 และคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงานให้ ดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 อีกทั้งได้เริ่มต้นศึกษาแนวทางที่ใช้ในระบบการติดตามดาวเทียมคิวบ์แซท เมื่อดาวเทียมคิวบ์แซทเข้าสู่วงโคจรนอกโลก โดยระบบการติดตามดาวเทียมนั้นเป็นส่วนของสถานี ภาคพื้นดินแบบอยู่กับที่ และแนวทางการ Deployment ของสายอากาศบนดาวเทียมคิวบ์แซท หลังจากทีดาวเทียมคิวบ์แซทเข้าสู่วงโคจรหรือระดับความสูงที่กำหนด

ในการทดสอบในสถานะที่คล้ายอวกาศที่ระดับความสูง 20 km แบบจำลองทาง วิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ในส่วนการสื่อสาร สามารถติดต่อสื่อสารกับแบบจำลองทาง วิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ได้ทั้งหมดภารกิจ ไม่ว่าจะแบบจำลองทางวิศวกรรมของ ดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 จะกำลังไต่ขึ้นระดับความสูง ที่จุดสูงสุด หรือกำลังลดระดับความสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างดาวเทียมนอกเหนือจากระบบการทำงานของดาวเทียมแล้ว ยัง ต้องคำนึงถึงการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ชั้นบรรยากาศต่างๆด้วย จึงจำเป็นต้องมีเครื่องในการ จำลองสภาพแวดล้อมที่ระดับความสูงต่างๆ อย่างเช่น Vacuum chamber ที่ใช้ทดสอบภายใต้ความดัน อากาศของตัวดาวเทียมการทำ Vibration testing การทดสอบ Magnetic Torques stabilization ด้วย Air bearing การทดสอบ EMI (Electromagnetic Interference) ที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์บนดาวเทียม

บรรณานุกรม

- [1] The CubeSat Program Cal Poly SLO. 2014. “CubeSat Design Specification,” [Online].
Available: https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf
- [2] Wikipedia. “Atmospheric temperature,” [Online].
Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_temperature
- [3] Sherif Saleh, “Floating Performance Analysis and Extended Lifetime for High Altitude Zero Pressure Balloon,” International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 6, No. 4, August 2016.
- [4] Martin Bossert, “Channel Coding for Telecommunications,” John Wiley and Sons, 1999.
- [5] The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), “Recommendation for Space Data System Standards: TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING,” 2011.
- [6] LinkSprite, “LinkSprite JPEG Color Camera Serial UART Interface With Infrared,” 2010.
- [7] Bosch Sensortec, Data sheet BMP180.
- [8] Mechtly, “The International System of Units, Physical Constants and Conversion Factors,” REV. 2, 1973.
- [9] Bill Earl, “ADXL345 Digital Accelerometer.”
- [10] Mark Pedley, Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer, Freescale Semiconductor, 2013.
- [11] Ublox, “NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet”
- [12] National Marine Electronics Association, The NMEA 0183 Protocol,
- [13] Arduino. “Arduino Nano,” [Online].
Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>
- [14] Arduino. “Arduino Pro Mini,” [Online].
Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardProMini>
- [15] Cristinel Ababei. “microSD card,” [Online].
Available: www.dejazzer.com/ee379/lecture_notes/lec12_sd_card.pdf

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [16] NXP Semiconductors N.V. "UM10204 I2C-bus specification and user manual," 2014.
- [17] DLNWARE. "SPI Bus," [Online].
Available: <http://dlnware.com/theory/SPI-Transfer-Modes>
- [18] Silicon Laboratories Inc., Data sheet Si4432 ISM Transceiver.
- [19] Christian Schlegel, Trellis coding, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [20] National Instruments. "LabVIEW Environment Basics," [Online].
Available: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/environment>
- [21] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, 2nd ed., John Wiley and Sons, 1998.
- [22] Thomas Gansmoe, Stian Vik Mathisen, Jøran Grande, Jens F. Dalsgaard Nielsen, Nils Kristian Rossing, "The CanSat Book," 2013.
- [23] Duncan Miller, "Design optimization of the CADRE Magnetorquers," 2013.
- [24] Bob Bruninga. "Automatic Packet Reporting System," [Online].
Available: <http://www.aprs.org/>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบปล่อยแบบจำลองดาวเทียมคิวบ์แซท EM-3 ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

วันเสาร์ที่ 1 ธันวาคม 2561 เวลา 13.00 - 19.00 น.

สถานที่ วัดขุนอินทประมูล ต.อินทประมูล อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง (14.637167,100.424833)

1. การพยากรณ์สภาพอากาศในการทดสอบครั้งที่ 1

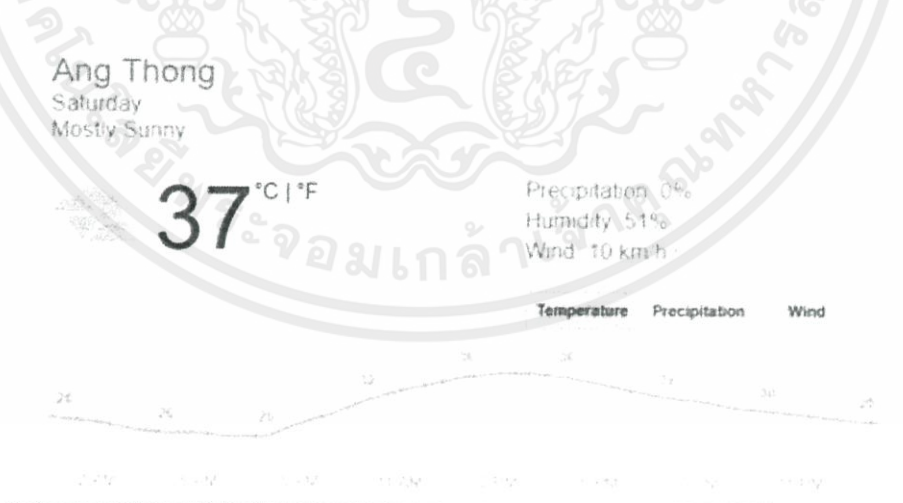
วันเสาร์ที่ 1 ธันวาคม 2559

ระยะเวลาระหว่าง 13.00 ถึง 19.00 น.

สถานที่ วัดขุนอินทประมูล ต.อินทประมูล อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง (14.637167,100.424833)

พยากรณ์สภาพอากาศได้ผลดังนี้คือ

- 1) อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23 ถึง 37 °C
- 2) ความชื้นสัมพัทธ์ 51 %
- 3) โอกาสที่ฝนจะตก 0 % ในพื้นที่จังหวัดอ่างทอง
- 4) ความเร็วลม 10 km/hr



รูปที่ ก.1 การพยากรณ์สภาพอากาศโดยฐานข้อมูลออนไลน์ก่อนทำการส่งบอลูน

2. การพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนผ่านของบอลูนในการทดสอบครั้งที่ 1

จากการพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนผ่านของจะพบว่าบอลูนจะลอยขึ้นสู่ท้องฟ้าด้วยความเร็ว 10 km/h จนถึงที่ระดับความสูง 25 km จากพื้นดินบอลูนจะแตก จากนั้นจะพยุงตัวด้วยร่มชูชีพจนตกสู่พื้นดินที่พิกัด ละติจูดที่ 14.4711 ลองจิจูดที่ 100.4196 ซึ่งระยะทางการเคลื่อนผ่านของบอลูนรวม 50 km และใช้เวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 28 นาที แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การพยากรณ์เส้นทางที่บอลูนเคลื่อนผ่านและตกสู่พื้นดิน

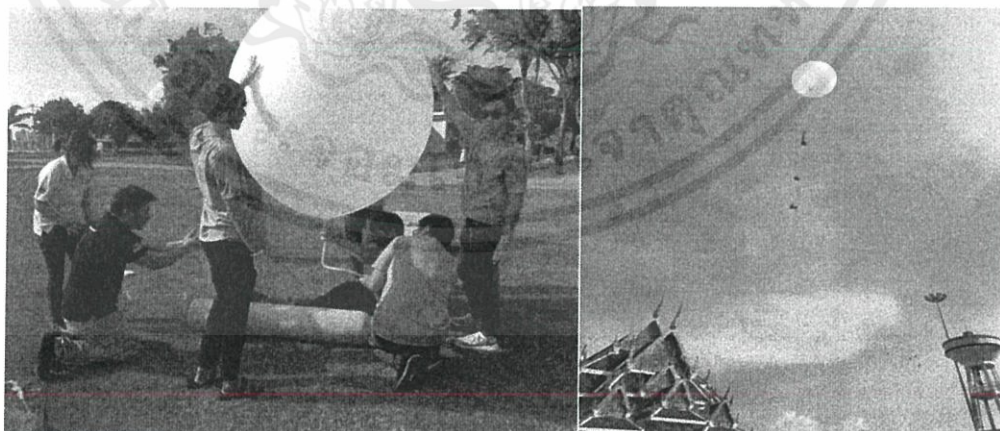
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมการทดสอบแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซทในการทดสอบ



รูปที่ ก.3 การเตรียมการส่งแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซท

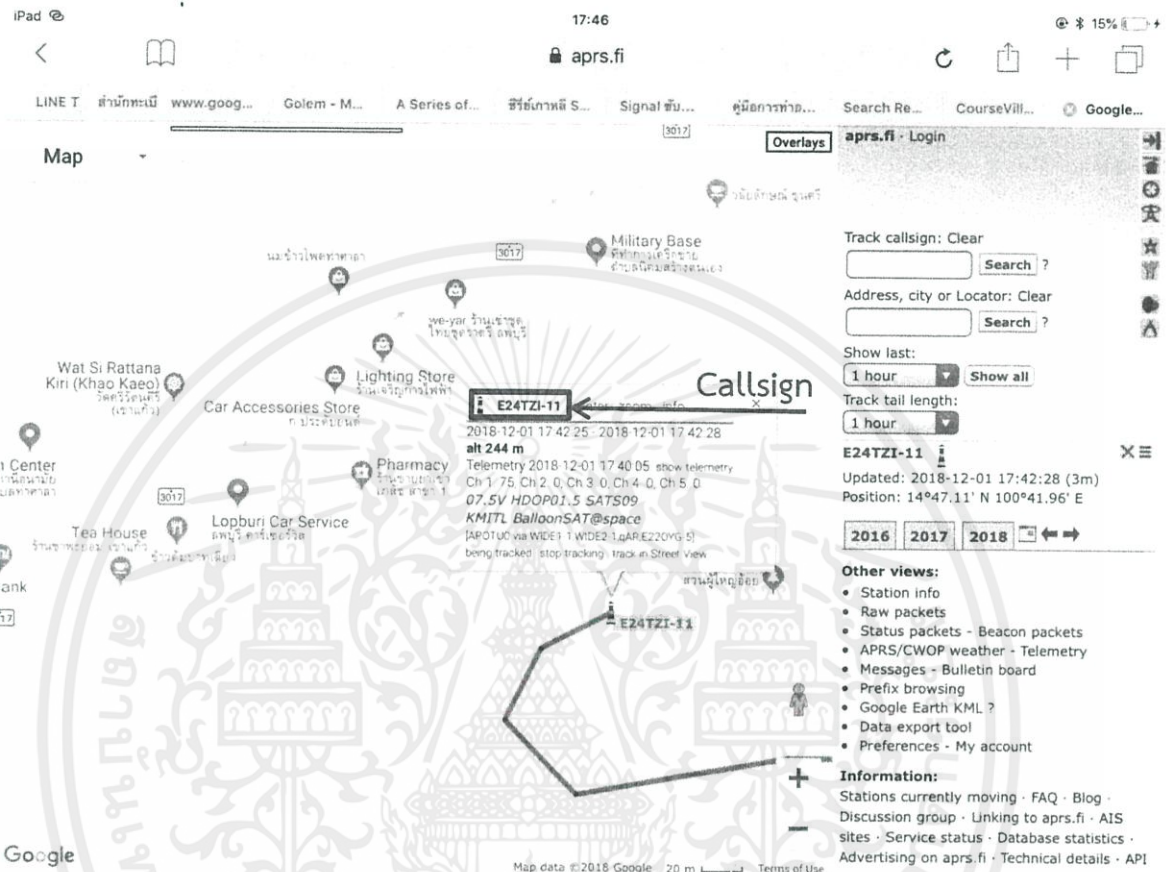
การส่งแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวิบ์แซทขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ใช้บอลูนขนาด 300 g บรรจุแก๊สฮีเลียม 3 cubemeters ทำให้เกิดแรงยก 2 km ซึ่งสามารถยกวัตถุน้ำหนัก 1 ถึง 1.2 kg ให้ลอยสู่ชั้นบรรยากาศได้ประมาณ 20 km



รูปที่ ก.4 การบรรจุแก๊สฮีเลียมสู่บอลูน

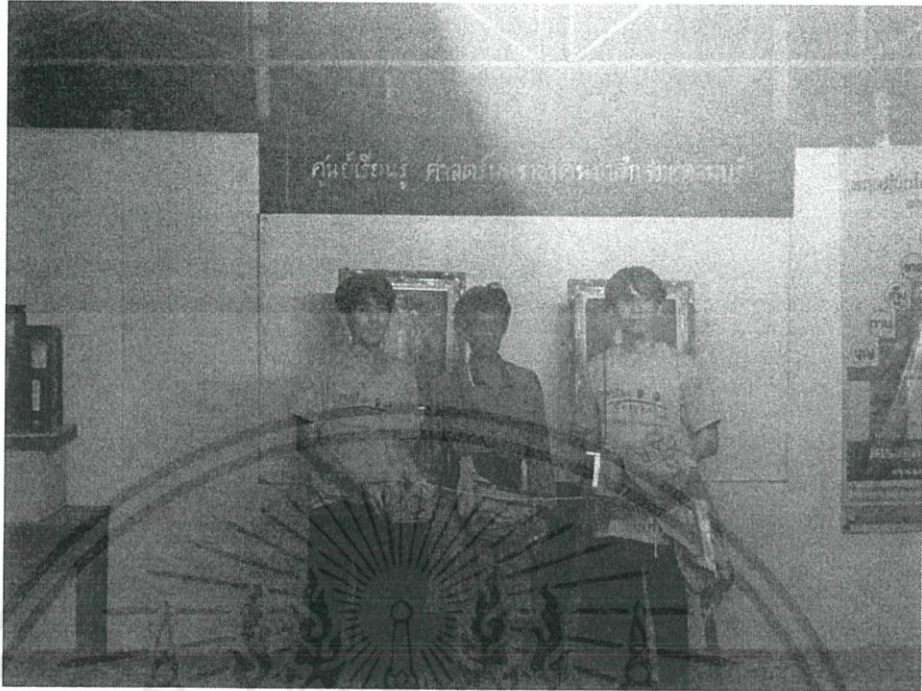
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเก็บกู้แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทในการทดสอบ



รูปที่ ก.5 การติดตามแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซทด้วย APRS

การตามเก็บกู้ดาวเทียม ขอขอบพระคุณ นายชาญ ทองใบ ผู้ดูแลศูนย์การเรียนรู้ศาสตร์พระราชาศึกษา คีรีป่าสัก จังหวัดลพบุรี ที่อนุญาตและช่วยเหลือภารกิจการเก็บกู้ดาวเทียมคิวบแซท ในครั้งนี้จากจุดปล่อย ประมาณ 50 km



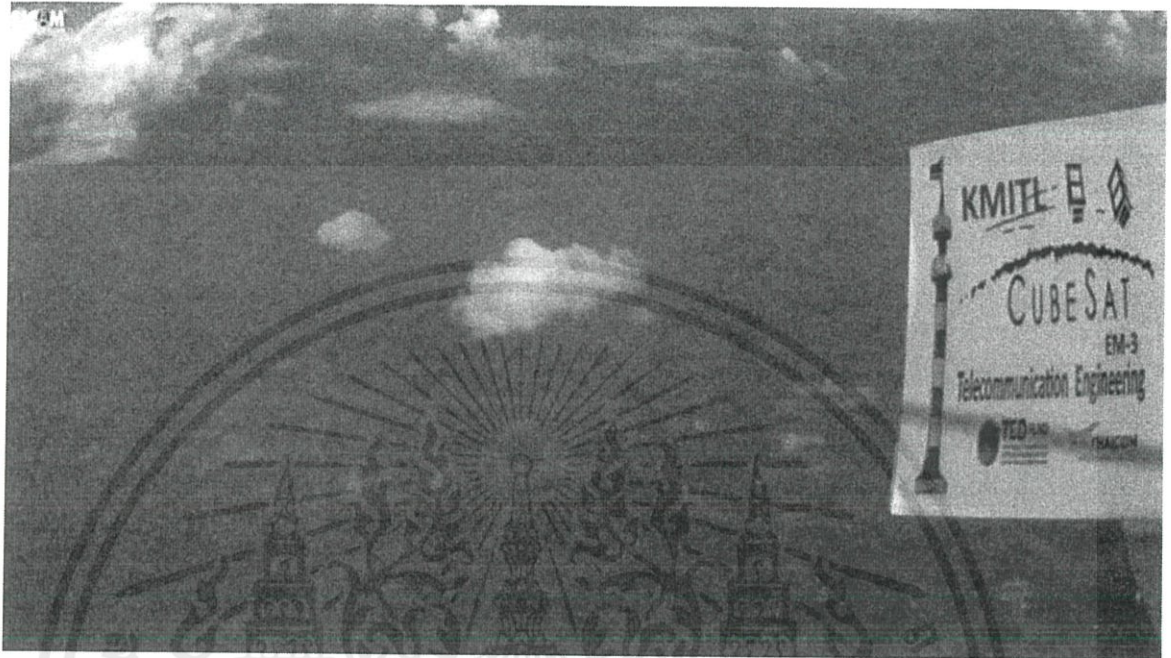
รูปที่ ก.6 การเก็บกู้แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบแซท



รูปที่ ก.7 ดาวเทียมคิวบแซทที่เก็บกู้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องออฟไลน์



รูปที่ ก.8 ภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้